

基于均衡算法的协作信道分配策略

罗庆云 陈敏 赵巾帼

(湖南工学院计算机系 衡阳 421002)

摘要 IEEE 802.11 物理层和 MAC 具有支持多信道和多速率的能力。在多速率情况下,IEEE 802.11 网络产生性能异常问题,低速率链路严重降低了高速率链路的性能,导致系统性能下降。针对该问题,设计了基于均衡算法的协作信道分配(CCA)协议,以解决无线网络中的性能异常问题。CCA 的主要思想是通过预估传输时间(ETT)标准和均衡算法来解决信道分配问题。在预估传输时间标准下,CCA 通过多信道来分离不同速率链路。通过使用均衡算法,CCA 还能增加吞吐量的公平性。仿真结果表明,在无线网状网中,CCA 能有效改善网络性能。

关键词 性能异常,多信道,均衡算法,公平指数

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Cooperative Channel Allocation Strategy Based on Balancing Algorithm

LUO Qing-yun CHEN Min ZHAO Jin-guo

(Department of Computer Science and Technology, Hunan Institute of Technology, Hengyang 421002, China)

Abstract Physical and MAC layer of IEEE 802.11 supports multi-channel and multi-rate. In the case of multi-rate, IEEE 802.11 network causes the problem of performance anomaly and low-speed links degrade the performance of high-speed links seriously, which leads to the degradation of system performance. For this problem, a cooperative channel allocation (CCA) agreement was designed to solve the problem of performance anomaly in wireless network. The idea of CCA is to solve channel allocation problem via the criterion of estimated transmission time(ETT) and balancing algorithm. Under the criterion of estimated transmission time, CCA separates links at different speed via multi-channel. Based on balancing algorithm, CCA can also increase the fairness of throughput. Stimulation results indicate that CCA can improve the network performances in wireless mesh networks.

Keywords Performance anomaly, Multi-channel, Balancing algorithm, Fairness index

1 引言

无线网状网(Wireless Mesh Networks, WMNs)具有快速部署、易于安装和可靠性高等优点,为企业、校园和大城市地区提供无处不在的宽带互联网访问^[1],因而是极有吸引力的互联网解决方案。典型的无线 Mesh 网由固定网状路由器和客户端组成,通过高速网络,一个或多个网状网路由器充当连接到互联网的网关,为无线链路提供多跳支撑并为无线 Mesh 网客户端提供互联网访问。

无线 Mesh 网 MAC 层采用 IEEE 802.11 协议标准。采用该协议标准的无线节点根据环境中的干扰、噪声和距离^[2]等因素,自适应地调整传输速率,以提高网络传输性能。但在多速率情况下,会产生不公平性问题,导致网络性能严重下降。文献^[3]指出,IEEE 802.11 无线网络中多种传输速率并存时,会产生性能异常问题,即不同传输速率的节点所获得的吞吐量却是相等的。出现这一问题的原因在于 IEEE 802.11 的分布式协调功能(DCF)机制。DCF 实现的是接入次数的公平,在各无线节点数据分组长度相同时,高速率节点获得的吞吐量和低速率节点的吞吐量相等;而低速率节点传输一个

分组占用无线信道的时间较长,在较长时间内,低速率节点占用无线信道的的时间远大于高速率节点占用的时间,这对高速率节点是非常不公平的,同时严重降低了整个网络的性能。然而文献^[3]研究的性能异常问题仅基于单跳情况,而在无线 Mesh 网中的多跳情况下,亦存在性能异常问题。针对该问题,本文主要做了如下研究工作:(1)分析了无线 Mesh 网中的多跳情况下的性能异常问题;(2)提出了基于均衡算法的协作信道分配(CCA)协议,以解决多跳情况下的性能异常问题;(3)进行了详细的理论分析和细致的仿真验证,证实了 CCA 能提高多跳情况下的网络公平性,有效改善网络性能。需要指出的是,CCA 仅需要在 IEEE 802.11 基础上作细小修改,其实现方法非常简单、方便,仅需通过软件升级即可实现,无需对硬件设备做任何修改,有利于在实际网络中应用。

2 相关研究工作

为了解决 IEEE 802.11 网络中的性能异常问题,许多研究人员设计了大量的解决方案,如信道分配协议^[4-10]。Raniwa^[4]提出基于树结构的 Hyacinth 算法,该算法的主要思想是:以网关为根节点,每个节点都有上行网络接口卡连接到其

到稿日期:2012-06-07 返修日期:2012-10-14 本文受湖南省科技计划项目(2012GK3082)资助。

罗庆云(1965—),男,硕士,教授,主要研究方向为计算机网络、神经网络,E-mail:158138698@126.com;陈敏(1978—),男,硕士,副教授,主要研究方向为神经网络、混沌理论;赵巾帼(1965—),女,硕士,副教授,主要研究方向为计算机网络。

父节点,下行网络接口为其子节点提供互联网访问路径。Draves^[5]提出了同一信道分配(ICA)算法,该算法要求每个信道都有接口。一旦工作,节点就为每一个信道和接口建立永久的配置。

除以上方案外,还有调整访问参数^[11]、转播低速率链路节点的流量^[12]、在高速率链路上一次发送多个帧^[13]和 OAR 算法^[14,15]。邹仕洪^[16]和 Kim^[17]提出了一种调整最小竞争窗口大小的算法。该算法能合理使用无线资源,改善无线资源的使用效率,以提高系统的公平性和吞吐量。然而,该方法没考虑协议的开销^[18],节点数量增加时,系统公平性有所下降。Paramvir^[19]设计了一个名为 SoftRepeater 的方案来解决性能异常问题,该方法不需要修改 IEEE 802.11 的 MAC 硬件,并且能够应用于商用无线网卡。但是该方案的开销较大,在复杂流模型下的效率较低。文献^[20]的方案需要修改 AP,另外一个缺点是降低了低速节点的性能,进而影响了整个系统的性能。文献^[21,22]的方案仅能适用于多跳的情况,能够缓解性能异常问题,但这些方案需要修改 MAC 层硬件。另外还有数据速率自适应信道分配算法(DR-CA)^[23]、多速率多信道算法(MRMC)^[24]、基于速率的信道分配(RB-CA)^[25]等诸多算法,以解决性能异常问题。

3 无线 Mesh 网中多跳情况下的性能异常问题

3.1 网络系统模型

为简单起见,本文做出以下假定:1)每个节点可以有多个(至少两个)IEEE 802.11 a 接口;2)传输速率由两个节点之间的距离决定^[11]。对于任意两个节点,基于多个物理层特性(如信噪比、节点之间的距离和调制方案),其中一个节点可能在另外一个节点的传输范围或干扰范围内。传输范围指节点可以正确解码接收的帧的范围;干扰范围指节点可以侦听到信道忙闲的范围,但不能正确解码接收到的帧。

3.2 无线 Mesh 网中的性能异常分析

性能异常通常出现在单跳单信道网络中(如,无线局域网),也发生在多跳网络中,其中包括隐藏节点。图 1 给出了多跳情况下性能异常的一个例子的网络拓扑结构,其中 8 个节点分别用 A-H 表示,其在同一信道使用了两个 IEEE 802.11 a 接口。节点 A 和 D 是隐藏节点,而其他节点在彼此的干扰范围内。3 个数据流向分别为 A-B-G、F-E-D 和 C-H。例如,节点 A 通过 A-B-G 生成一个流,即通过中间节点 B 和 54Mbps 的链路到节点 G。

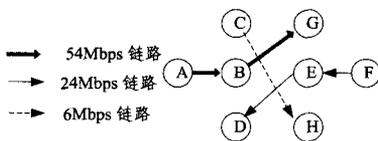


图 1 多跳网络拓扑结构图

通过 NS-2 仿真工具对图 1 进行了仿真,图 2 显示了图 1 的网络吞吐量。节点 A、C 和 F 的饱和和 UDP 流开始时间分别为 15s、30s 和 45s。从图 2 可以观察到,当低速链路开始传输时,拉低高速链路的吞吐量,使高速链路的吞吐量减少到与低速链路相同,同时严重降低了网络总吞吐量,降低了网络性能,产生了网络性能异常问题。从 30s 开始,网络中加入较低速链路(24Mbps)F-E-D 时,高速链路(54Mbps)A-B-G 的传输速率并未改变,但其吞吐量从 9.4Mbps 下降到与链路 F-E-D

相同,为 3.2Mbps,下降了 65.9%;网络总吞吐量从 9.4Mbps 下降到 6.3Mbps,下降了 32.9%。从 45s 开始,网络中再加入低速链路(6Mbps)C-H 时,高速链路 A-B-G 的吞吐量进一步降低到与链路 C-H 相同,为 2.0 Mbps 左右,下降了 78.7%。而网络总吞吐量下降到 5.1Mbps,下降了 45.7%。由此可知,性能异常导致高速链路和系统总吞吐量减少,严重降低了系统的性能。因此,解决无线 Mesh 网中多跳情况下的性能异常问题尤为重要。

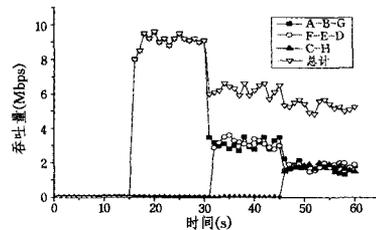


图 2 性能异常的吞吐量

4 协作信道分配协议(CCA)

4.1 家庭结构描述

图 3 给出了一个家庭结构的例子。所有节点都连接到网关(节点 G),实线是路由路径的链路,而虚线是两个节点之间的物理链路,路径中的所有链路都有 4 个不同的信道。多个节点形成一组,称为家庭,其中包括一个父节点和多个子节点。图 3 中有 4 个家庭 F1-F4。一个家庭中的任何两个节点之间能够直接联系,同一家庭的任何两个子节点就是兄弟。每个节点使用两个接口类型:单个上行家庭接口(UF-NIC,用来连接上一个家庭)和多个下行家庭的接口(LF-NIC,为下级家庭提供网络访问)。在家庭中,CCA 定义了两种链路类型:父节点和子节点之间的主链路和两个子节点之间的次链路。在信道分配阶段,主链路比次链路的优先级高,因为在无线 Mesh 网中,互联网接入的流量占主要部分。

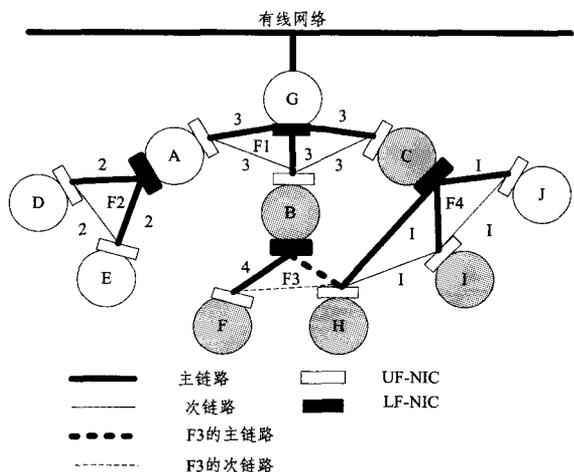


图 3 家庭结构图

4.2 家庭结构形成描述

家庭广播:通过存在的节点,节点家庭结构中的节点通过 LF-NICs 每隔 T_r 单位时间广播家庭(FA)消息到相邻节点。根据接收到的 FAs,每个节点都将更新相邻表(NT)的当前信道和地址,以此来保持到相邻节点的数据传输速率。FA 包括源地址、可访问的互联网、LF-NICs、LF-NICIDs 的信道数、生存时间(TTL)、序列号的更新以及主链路信道分配中的 ETT

标准(见表1)。本文的方法可以从路由层和网络接口驱动程序中获得相关信息,而无需扩展 IEEE 802.11 硬件设备。多个装有 LF-NICs 的节点可以支持多个被 LF-NIC ID 识别的子家庭(即家庭 ID)。这些子家庭表(FT)的信息由 FT 来维持,其中包括子地址列表和每个家庭的信道数。

对于一个家庭的信道,CCA 选择了“最小下载信道”来反映当前相邻数据的下载情况,以此降低相互之间的干扰。最小下载信道就是所有信道中下载数据最小的信道。对于这一点,每隔 T_r 个单位时间,节点就与相邻的 H -hop 内的节点相互交换家庭信道下载(FCL)信息,其中的 H 是指干扰范围和传播范围之比。FCL 包含了在 T_r 单位时间内由 LF-NICs 信道传输和接收到的信息数(字节),其中 $TTL=H$ 。由于 H 是有限的(一般为 2 或 3),因此在网络范围内 CCA 不会出现大量的 FCLs。一旦节点决定改变下级家庭的信道,其就会通过发送家庭信道交换(FCS)信息来通知子节点的新信道。通过广播 FAs 和 FCLs,节点使用 NT 向相邻信道切换每一个 LF-NICs。

主链路的形成:CCA 给予主链路较高的优先级,故最开始对主干链路进行信道分配。图 4 显示了图 3 的家庭形成过程,其中 F1 连接节点 B 和 C,而且该两节点都有连接网关的主链路和通向子兄弟节点的次链路。节点 B 和 C 的子节点为 F 和 I,他们可以广播 FAs。根据节点 B 发送的 FA,节点 H 决定是否加入节点 B 的家庭(F3)。如果节点 H 没有主链路或发现连接节点 B 的主链路优于当前 ETT 的主链路,那么其会向节点 B 发送家庭请求(FREQ)信息,然后通过 F3 建立连接。在接收到 FREQ 之后,节点 B 通过执行均衡算法(见图 6)来确定节点 H 的最终家庭 ID。然后,在确定进入 FT 的情况下,把节点 H 插入节点 B 中,为节点 H 创建一个路由表,并发送返回一个 FREP 信息。FREP 包括确定家庭的子地址、主链路间的最小传送速率以及家庭的信道数。根据接收到的 FREP,如果节点 H 要改变他的父节点,那么节点 H 向原父节点发送带有“DEL”的 FREQ,然后,节点 H 根据 UF-NIC 的 FREP 来为主干链路分配信道。同时,节点 B 转发接收到的 FREQ 至家庭结构中的原网关。原网关插入节点 H 的路由表,而原节点 C 将把节点 H 的路由入口从其路由表中删除。

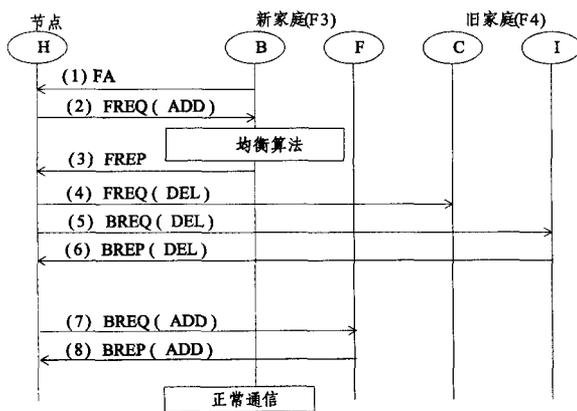


图 4 家庭形成过程

次链路的形成:在节点 H 连接到 F3 之前,在 F4 中向原兄弟节点发送 BREQ 信息,从而将路由表中原兄弟节点删

除。值得注意的是,该删除是在节点 H 将 UF-NIC 信道变为 F3 信道之前执行的(见图 4)。该 BREQ 包含了节点 H 的地址、DEL 状态以及子节点地址(存在的情况下)。根据接收到的 BREQ,兄弟节点将删除 BREQ 子节点地址的路由入口,同时向节点 H 反馈一个 BREP 信息,该信息包括了节点 I 的地址、DEL 状态以及节点 I 的子地址。因此,节点 H 删除 BREP 子地址的路由入口。

节点 H 加入到一个新家庭(如 F3)之后,节点 H 从节点 B 发送的 FREP 的成员中选择一组兄弟节点。被选定的兄弟节点就是能在其和节点 H 中建立次链路的相邻节点。因此,次链路的数据传输速率一定大于等于 FREP 中的最小数据传输速率。本文的目标就是在主链路和次链路的基础上选择兄弟节点。在家庭中,次链路使用 6Mbps 的速率传输,而主链路使用 24Mbps 的速率。次链路严重降低了网络的传输性能。因此,CCA 不使用这种低速率的次链路。然后,节点 H 与新选定的兄弟交换 BREQ/BREP 信息。相对于前面的 BREQ/BREP 信息交换,这些 BREQ/BREP 包含了除 ADD 状态外的其他信息。

同样,新父节点 B 将在原父节点 C 和原兄弟节点建立的次链路接收到子节点的 FREQ 之后产生。如果接收到的 FREQ 状态是 ADD,那么原节点将交换 BREQ/BREP,其中就包括 ADD 状态和节点 H 的地址以及节点 H 的子节点,然后新成员插入路由入口。否则,他们将交换带有 DEL 的 BREQ/BREP,并删除老成员。

4.3 信道分配的 ETT 标准和路由

本文提出的预估传输时间(ETT)标准根据信道吞吐量来进行计算,是一个估计多速率网络吞吐量的高效率模型。基于文献[11]分析模型的信道吞吐量,其使用马尔可夫链准确地模拟了 802.11 网络中的单信道单跳的吞吐量,描述如下。

假设每个节点都有一个独立接口且总是不停地传输数据帧,而且发送帧必有一次是成功的(即饱和状态)。首先,节点根据数据传输速率来分组。也就是说,第 i 组节点的传输数据速率为 r_i ,其中 $i=1,2,\dots,R$, R 为速率数(如,在 IEEE 802.11 a 中, $r_1=54\text{Mbps}$, $r_2=48\text{Mbps}$, \dots , $r_8=6\text{Mbps}$),那么,网络吞吐量总和(S)可以表示为:

$$S = \sum_{i=1}^R (S_i \times r_i) \quad (1)$$

式中, S_i 表示第 i 组饱和的标准化吞吐量^[12]。

根据文献[12], S 是第 i 组节点数的函数,而所有其他的参数都是默认设置的。因此,单跳无线网中信道 k (s^k) 的吞吐量可以表示如下:

$$S^k = f(n_1^k, n_2^k, \dots, n_i^k, \dots, n_R^k) \quad (2)$$

式中, n_i^k 是第 i 组节点在信道 k 上使用的速率 r_i 的节点数量。本文余下部分用 s^k 表示信道 k 的吞吐量。

当速率为 r_i 的单链路使用信道 k 时,速率为 r_i 的链路数如式(3)所示。

$$n_j^k = \begin{cases} 1, & j=i \\ 0, & j \neq i \end{cases} \quad \forall j=1,2,\dots,R \quad (3)$$

把式(3)代入式(2),就能得到信道 k 速率为 r_i 的链路的信道吞吐量。如果长度为 L 的数据帧在速率为 r_i 的链路上传输,那么该链路的 ETT 可由式(4)表示。

$$ETT = \frac{L}{S_i^k} \quad (4)$$

表1给出了每一个 r_i 的ETT值。当速率为 r_i 的单链路工作时,其中分组长度 L 为1000bytes,节点 X 的最终ETT值为:

$$ETT(X) = \sum_{j \in P_x} ETT_j \quad (5)$$

式中, P_x 是一条包含了一组从节点 X 到网关的链路的路径, ETT_j 表示路径 P_x 上链路 j 的ETT。

表1 各速率的ETT值(分组长度为1000byte)

数据速率	ETT值	数据速率	ETT值
54Mbps	398 μ sec	18Mbps	705 μ sec
48Mbps	412 μ sec	12Mbps	925 μ sec
36Mbps	468 μ sec	9Mbps	1162 μ sec
24Mbps	593 μ sec	6Mbps	1623 μ sec

通过图5来讨论ETT的几个优点,这里有3条路径 P_1 、 P_2 和 P_3 ,路径中的任何两个节点都在彼此的传输范围内。每个节点都有UF-NIC和LF-NIC,每条链路都有信道数和数据传输速率。所有ETT值通过式(5)或表1来计算。

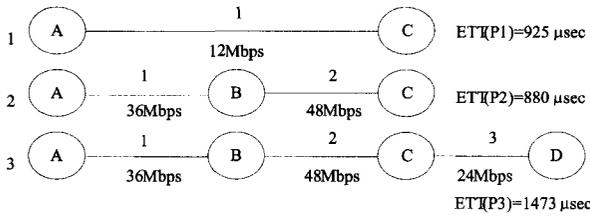


图5 ETT工作路径

为方便起见,本文把多信道多跳路径定义为多跳的高速率路径,如 P_2 。多跳、高速率路径经过了大量文献^[5,26-28]的广泛研究。在这些文献中,许多研究人员主要集中于在假设信道所有链路正确分配的情况下选择最优路径。在信道分配完成后,其有可能为多种高信道选择更优的路径,或在测试完链路质量的情况下选择一个延时小的路径^[27]。然而,在信道链路分配之前,是不可能对链路质量进行测试的。这表明,信道分配和路由^[28]之间有着紧密的联系。基于该原因,在信道链路分配时,通过使用ETT,CCA把信道分配和路由同时考虑到家庭结构中。

为了更好地理解ETT的优势,本文使用路径 P_1 和 P_2 。在对目标节点A进行信道链路分配时,节点C选择ETT值较小的路径 P_2 ,这使得低速率链路A-C不会与信道1中的高速率链路A-B发生竞争。这也就是说,基于ETT的信道分配考虑到了性能异常。此外,低速率的节点(也可能使用低速率链路)可能同时使用多信道和高速率链路传送数据流量。由于ETT的值与跳数成正比,因此,对于 P_2 和 P_3 ,CCA将会选择路径更短的 P_2 。对于计算离散的ETT,家庭结构中的每个节点都将广播FAs,其中包括从节点到网关所有链路的ETT值。通过使用此字段,子节点可以计算出其到网关的ETT值。

4.4 均衡算法

在多跳网络中,根据不同的数据速率进行信道链路分配可以视为一些变化图形的着色问题。然而,该问题在文献^[9,10]中是一个还没解决的难题。因此,本文需要做的有两方面工作:(1)设计一个简单而有效的吞吐量的估计方法;(2)设计

基于不同数据传输速率的多个主链路的均衡算法。以下分别介绍吞吐量估计模型与均衡算法。

4.4.1 信道总吞吐量估算

在CCA中,每个节点都维持着一定数量的主链路,通过速率向量(RVs),这些主链路与次级家庭都有着不同的数据传输速率。如节点 X 通过LF-NICs占用信道 k , $RV(v_k^X)$ 表示如下:

$$v_k^X = [n_k^1, n_k^2, \dots, n_k^K]^T \quad (6)$$

式中, n_k^i 表示在信道 k 中速率为 r_i 的主链路数。起初,所有 v_k^X 向量的值都等于0。当节点 X 通过第 K 个LF-NICs,占用第 k 个信道时,本文可以通过 S^k 和 v_k^X 来估计信道总吞吐量:

$$S_{total} = \sum_{k=1}^K S^k \quad (7)$$

多跳网络中,在干扰范围内的隐藏节点能影响发送节点和接收节点的数据传输。由于RVs不能表示隐藏节点的数量,因此通过 S_{total} 估计的吞吐量可能严重下降。

4.4.2 均衡算法描述

均衡算法根据均衡函数(RBF)来改善信道总吞吐量和信道间吞吐量的公平性。RBF等于 S_{total} 与 F_s 之积:

$$RBF = S_{total} \times F_s \quad (8)$$

式中, F_s 为 S^k 的公平指数:

$$F_s = \left(\sum_{k=1}^K S^k \right)^2 / K \times \left(\sum_{k=1}^K S^k \right) \quad (9)$$

当信道吞吐量严重依赖于某特定信道时, F_s 将不断接近 $1/K$,当每个信道接近或者信道吞吐量均衡时, F_s 收敛于1。 S_{total} 模拟了性能异常的效应,已经在文献^[11]的模型中推导出来,能精确地计算出性能异常情况下的值。因此,RBF值的增加可以提高吞吐量的公平性。

均衡算法的设计目的是为多信道中不同数据传输速率分配主链路。当节点收到某个子节点的FREQ或相邻 H 跳的FCLS时,运行均衡算法。图6给出了均衡算法的伪代码。假定在节点 X 上执行该算法。在第2行中,初始化所有变量,把所有LF-NICs的信道吞吐量设置为原始容量。在第4行中,节点 X 根据其数据传输速率递减的顺序分配主链路,也就是说,首先使用54Mbps的链路。在第5行中,为默认LF-NIC分配主链路。通过执行6~15行,节点 X 为新的LF-NICs分配链路。在第7行,通过RVs节点 X 得到当前的RBF。在节点 X 找到最大 S^k 的LF-NIC后,立刻把当前的链路临时分配给LF-NIC。接着,节点 X 计算新的RBF。如果新的RBF大于等于当前第7行计算出的RBF,节点 X 为新的LF-NIC分配永久链路。当没有剩余的链路或没有RBF增益时,程序结束。在第16行中,节点 X 通过FCSs来通知所有新信道中受影响的子节点。

1. Executed whenever node X receives FREQs or FCLS
2. curr_rbf = new_rbf = 0;
3. Set channel throughput of LF-NICs to 54Mbps;
4. Sort primary links in decreasing order based on data rates;
5. Assign all primary links to the default LF-NIC;
6. for each primary link i do {
7. curr_rbf = get_RBF (RVs);
8. max_nic = max_channel_throughput_nic (RVs);
9. Move the current primary link to max_nic temporarily;
10. new_rbf = get_RBF (RVs);

```

11.   if (curr_rbf <= new_rbf) then
12.       Assign the current child to max_nic permanently;
13.   else
14.       break;
15. } /* End of for */
16. Send FCS messages to all the reassigned primary links;
17. Update the RVs with the new results;

```

图 6 均衡算法的伪代码

通过均衡算法对信道进行分配之后,不同家庭下的两个子节点间的次链路不能被使用了。为了解决该难题,CCA 为新家庭的兄弟节点建立了新的次链路,无论相连的家庭 ID 是否改变。

5 仿真验证

通过 NS-2 仿真平台,对 CCA 的性能进行了仿真验证,并与文献[4]中的 Hyacinth 算法、文献[5]中的 ICA 算法进行了比较研究,这两种算法是无线 Mesh 网中知名的多信道协议。仿真设置如下,传播模型采用 TwoRayGround 传播模型。网络的规模是 800 米到 1000 米,每个场景都包括一个独立网关和网络范围内随机产生的多个节点。IEEE 802.11 a 提供 12 个无干扰信道和 8 种数据传输速率,不同数据传输速率的范围以系统默认的为准。干扰范围分别为 550 米,干扰与传输范围之比的 H 参数设置为 2。模拟时间为 300s, T 时间间隔为 20s。除特别申明之外,本文 IEEE 802.11 a 相关参数采用 NS-2 默认参数。

本文仿真了 UDP 和 TCP 流。对于 UDP 流,数据包长度为 1000bytes,UDP 流带宽为 800kbps。对于 TCP 流,数据包长度为 1000bytes,传输速率由 TCP Reno 自动设置。性能指标包括总吞吐量、分组投递率(PDR)、端到端的时延(E2E delay)、往返时间(RTT)以及公平指数(FPDR)。

$$F_{PDR} = (\sum PDR_f)^2 / N_F \cdot \sum PDR_f^2 \quad (10)$$

式中, N_F 为流的数量, PDR_f 为 f 流的分组投递率。

5.1 UDP 和 TCP 流下的性能比较研究

首先通过不同的节点数量来观察 UDP 流下 CCA、Hyacinth 和 ICA 的性能。图 7 显示了各算法分组投递率和端到端的延时。随着节点数量的增加,图 7(a)显示出 CCA 的分组投递率的成功率比 Hyacinth 和 ICA 高。当节点的数是 25 时,分别高出了 18.4% 和 60.1%。图 7(b)显示出 CCA 端到端时延比 Hyacinth 和 ICA 低。当节点的数是 25 时,分别降低了 60.2% 和 86.9%。因此 UDP 流情况下,CCA 显示出比 Hyacinth 和 ICA 更好的性能。

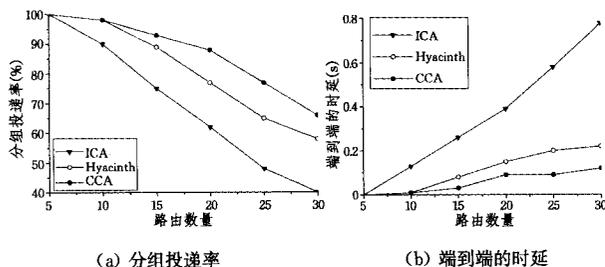


图 7 UDP 流下的性能比较

图 8 显示了各算法在 TCP 流下的总吞吐量和 RTT 时间。图 8(a)为各算法的总吞吐量,图 8(b)为各算法的 RTT。

在 TCP 流情况下,随着节点数量的增加,可以看出 CCA 性能比 Hyacinth 和 ICA 有较大改善。当节点数量为 25 时,从图 8(a)中可以看出,CCA 的总吞吐量比 Hyacinth 和 ICA 分别高出 45.4% 和 119.8%。从图 8(b)中可以看出,CCA 的 RTT 时间比 Hyacinth 和 ICA 低 34.6% 和 78.4%。

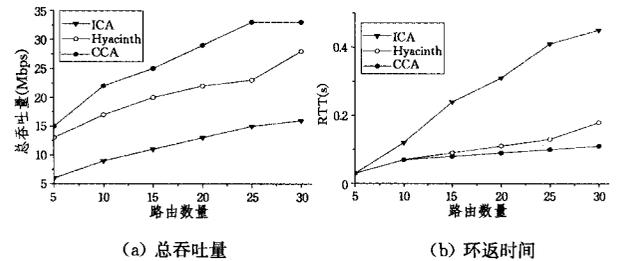


图 8 TCP 流下的性能比较

CCA 具有更好的性能可以解释如下。首先,随着节点数的增加,低速率链路与高速率链路共同使用的无线信道亦会增加。在 CCA 中,低速率节点通过使用 ETT 方法来减少信道中低速率的链路数(消除了性能异常)。此外,均衡算法还考虑了信道分配过程中的性能异常。相反,Hyacinth 和 ICA 的性能有所降低,是因为这些算法没有利用均衡算法。其次,随着节点数量的增加以及路由路径可用链路数量的增加,在 Hyacinth 算法中,基于树结构对可用链路进行了高度限制;尽管 ICA 利用了所有的可用链路,但其信道的多样性仍受到接口数目的限制;然而,CCA 在家庭结构中同时利用主链路和次链路。因此,CCA 比 Hyacinth 和 ICA 具有更好的性能。

5.2 吞吐量的公平性与干扰链路数

本节通过节点数量的变化来观察吞吐量的公平性。图 9 显示了系统的公平的性能,可以看出,CCA 的公平性最优。当节点数量为 25 时,CCA 的公平指数分别比 Hyacinth 和 ICA 高出了 12.1% 和 43.8%。

通过路由数目的变化来研究隐藏路由的干扰链路的数量,这些干扰链路可以明显降低信道的总吞吐量。图 10 显示了 CCA 中每个家庭隐藏节点干扰链路的平均数。从图 10 可以看出,随着路由数量的增加,干扰链路的数量也明显增加。但相对于路由数量来说,干扰链路的数量较小。这表明在无线 Mesh 网中,CCA 利用多信道能有效地降低干扰链路的相对数量。

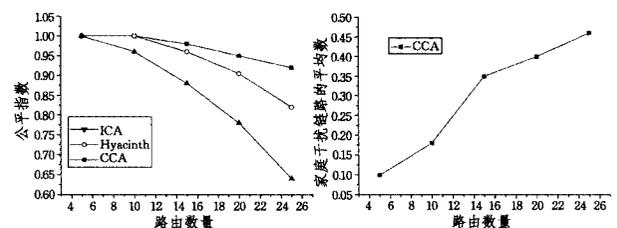


图 9 公平指数

图 10 每个家庭隐藏节点干扰链路的平均数

CCA 具有上述优点的原因有 3 方面。首先,CCA 允许低速率节点通过使用中间节点、高速率链路、多信道来同时传输数据,因此,低速率节点的性能能得到改善。其次,均衡算法能有效地分配多条主链路。最后,CCA 利用次链路使内部流和外部流的吞吐量达到均衡。

结束语 本文提出了基于多信道多节点的无线 Mesh 网

家庭结构的协作信道分配(CCA)协议。CCA 有效地完成了信道分配,即利用 ETT 和均衡算法来处理性能异常问题。通过 ETT,CCA 把高速率链路从低速率链路中分离出来。CCA 在分配信道链路时采用的是改善性能异常的均衡算法,同时利用了主链路和次链路。此外,CCA 不需要扩展 IEEE 802.11 硬件设备。仿真结果表明,CCA 能有效改善无线网网的性能。

考虑到本文所提算法依赖于 ETT 估算的准确性,其应用范围受到限制,在下一步工作中开展如下拓展研究:

1) 本文所提方法是基于多跳环境情况下的,如何使本文解决方案适合单跳的情况,成为今后需要研究的点之一。

2) 本文所提算法依赖于 ETT 估算的准确性,如何提高 ETT 估算的准确性,成为该算法能否走向实用的关键。提出更好的估算方法来快速、精确地估算网络的传输时间,成为今后的研究方向之一。

3) 服务质量(QoS)是无线网络中的关键问题,通过本文所提 ETT 估算和均衡算法对无线信道进行分配,优先分配无线信道给高优先级链路,以确保高优先级链路的吞吐量、时延和分组投递率等网络性能,成为今后需要研究的点之一。

参 考 文 献

- [1] Akyildiz I F, Wang Xu-dong, Wang W. Wireless Mesh Networks: A Survey [J]. Elsevier Computer Networks Journal, 2005,47(4):445-487
- [2] Joshi T, Mukherjee A, Yoo Y H, et al. Airtime Fairness for IEEE 802.11 Multirate Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008,7(4):513-527
- [3] Heusse M, Rousseeu F, Berger-Sabbatel G, et al. Performance Anomaly of 802.11b[C]//Proc. of IEEE Infocom. 2003
- [4] Raniwala A, Chiu T. Architecture and Algorithms for an IEEE802.11-Based Multi-Channel Wireless Mesh Network[C]//Proc. of IEEE Infocom. 2005
- [5] Draves R, Padhye J, Zill B. Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks[C]//Proc. of ACM Mobicom. 2004
- [6] Kim S H, Suh Y J. Local Channel Information Assisted Channel Assignment for Multi-Channel Wireless Mesh Networks[C]//Proc. of IEEE VTC Spring. 2008
- [7] Avallone S, Akyildiz I F, Ventre G. A Channel and Rate Assignment Algorithm and a Layer-2.5 Forwarding Paradigm for Multi-Radio Wireless Mesh Networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2009,17(1):267-280
- [8] Rad A H M, Wong V. Joint Logical Topology Design, Interface Assignment, Channel Allocation, and Routing for Multi-Channel Wireless Mesh Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2007,6(12):4432-4440
- [9] Subramanian A P, Gupta H, Das S R, et al. Minimum Interference Channel Assignment in Multiradio Wireless Mesh Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008,7(12):1459-1473
- [10] Raniwala A, Gopalan K, Chiu T. Centralized Channel Assignment and Routing Algorithms for Multi-Channel Wireless Mesh Networks[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communication Review, 2004,8(2):50-65
- [11] Yang D Y, Lee T J, Jang K H, et al. Performance Enhancement of Multirate IEEE 802.11 WLANs with Geographically Scattered Stations[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2006,5(7):906-919
- [12] Liu P, Tao Z, Narayanan S, et al. A Cooperative MAC Protocol for Wireless LANs[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 2007,25(2):340-354
- [13] Sadeghi B, Kanodia V, Sabharwal A, et al. Opportunistic Media Access for Multirate Ad Hoc Networks[C]//Proc. of ACM Mobicom. 2002
- [14] Kanodia V, Sabharwal A, Knightly E. MOAR: A Multichannel Opportunistic Auto-Rate Media Access Protocol for Ad hoc Networks[C]//Proc. of Broadnets. 2004
- [15] Sabharwal A, Khoshnevis A, Knightly E. Opportunistic Spectral Usage: Bounds and a Multi-band CSMA/CA Protocol[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2007,15(3):533-545
- [16] 邹仕洪, 邬海涛, 彭泳, 等. 一种提高多速率 WLAN 公平性的 MAC 协议[J]. 电子与信息学报, 2004,26(8):1306-1311
- [17] Kim H, Yun S, Kang I, et al. Resolving 802.11 performance anomalies through QoS differentiation[J]. IEEE Communication Letters, 2005,9(7):655-657
- [18] Cheng Yan-hong, Li Zhi-shu, Xing Jian-chuan, et al. A novel MAC mechanism to resolve 802.11 performance anomaly[J]. Journal of Zhejiang University, 2007,8(10):1573-1583
- [19] Paramvir B, Ranveer C, Patrick P C L, et al. Opportunistic Use of Client Repeaters to Improve Performance of WLANs[J]. IEEE/ACM Transactions on networking, 2007,4(17):160-171
- [20] Dunn J, Neufeld M, Sheth A, et al. A practical cross-layer mechanism for fairness in 802.11 networks[J]. MONET, 2006,1(11):37-55
- [21] Lee S, Banerjee S, Bhattacharjee B. The case for a multi-hop wireless local area network[C]// Proc. INFOCOM. 2004:894-905
- [22] Narayanan S, Liu P, Panwar. the advantages of multi-hop extensions to the IEEE 802.11 infrastructure mode[C]//Proc. WCNC. 2005:132-138
- [23] Niranjana N, Pandey S, Ganz A. Design and Evaluation of Multichannel Multirate Wireless Networks[J]. ACM/Kluwer Mobile Networking and Applications, 2006,11(5):697-709
- [24] Kuang T, Wu Q, Williamson C. MRMC: A Multi-Rate Multi-Channel MAC Protocol for Multi-Radio Wireless LANs[C]//Proc. of WinCS. 2005
- [25] Kim S H, Suh Y J. Rate-Based Channel Assignment Algorithm for Multi-Channel Multi-Rate Wireless Mesh Networks[C]//Proc. of IEEE Globecom. 2008
- [26] Awerbuch B, Holmer D, Rubens H. The Medium Time Metric: High Throughput Route Selection in Multirate Ad hoc Wireless Networks[J]. ACM/Kluwer Mobile Networking and Applications, 2006,11(2):253-266
- [27] Liu T, Liao W. On Routing in Multichannel Wireless Mesh Networks: Challenges and Solutions[J]. IEEE Network, 2008,22(1):13-18
- [28] Couto D S J D, Aguayo D, Bicket J, et al. A High Throughput Path Metric for Multi-hop Wireless Routing[C]//Proc. of ACM Mobicom. 2003