

移动 Ad Hoc 网络通信量相关干扰感知路由协议*

张信明[†], 刘琼, 代仕芳, 刘永振

(中国科学技术大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥 230027)

Traffic Load-Based Interference-Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks

ZHANG Xin-Ming[†], LIU Qiong, DAI Shi-Fang, LIU Yong-Zhen

(School of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

+ Corresponding author: E-mail: xinming@ustc.edu.cn, http://cs11.ustc.edu.cn

Zhang XM, Liu Q, Dai SF, Liu YZ. Traffic load-based interference-aware routing protocol for mobile ad hoc networks. *Journal of Software*, 2009,20(10):2721-2728. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3502.htm>

Abstract: The interference will greatly influence the performances of networks on its throughput, energy consumption, and lifetime in mobile ad hoc networks (MANET). On the basis of the existing interference models founded on the number and distribution position of the neighbor nodes, the traffic load of neighbors is further considered and an interference model based on traffic load is proposed. Based on the new interference model, a traffic load-based interference-aware routing (TIR) protocol is proposed, which chooses the routing path with the minimal interference between the source node and the destination node to reduce the possible interference generated when a packet is being forwarded. The results of the simulations show that the proposed interference model based on traffic load suits the characteristic of the MANET, and the TIR protocol obviously improves the network's lifetime, communication delay and throughput.

Key words: interference; routing protocol; neighbor node; traffic load; mobile ad hoc network

摘要: 干扰严重影响移动 Ad hoc 网络的吞吐量、能量消耗、网络寿命等性能。在已有基于邻居数目和分布位置的干扰模型基础上,进一步考虑各邻居上的通信量情况,提出通信量干扰模型。并在该干扰模型的基础上,提出一个通信量相关干扰感知路由 TIR(traffic load-based interference-aware routing)协议。TIR 通过在源节点和目的节点之间选择干扰最小的路径来降低数据包在转发过程中可能受到的干扰。模拟实验结果表明,所提出的通信量干扰模型符合移动 Ad hoc 网络的特性,通信量相关干扰感知路由协议对网络寿命、通信延迟及吞吐量等网络性能有明显改善。

关键词: 干扰;路由协议;邻居节点;通信量;移动 ad hoc 网络

中图分类号: TP393 文献标识码: A

移动 Ad hoc(自组织)网络是一种具有自组织能力的移动分布式多跳无线网络。由于自组织所具有的特性,无须基础设施,易于部署,因而有着广阔的应用前景,它在国家安全、环境监测、交通管理、空间探索等领域具

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60673171 (国家自然科学基金); the National Basic Research Program of China under Grant No.2006CB303006 (国家重点基础研究发展计划(973))

Received 2008-07-17; Accepted 2008-10-27; Published online 2009-06-09

有重大的应用价值,因而引起了军界、工业界和学术界的高度关注.

自组织网络使用共享的无线信道传输信息,因此它面临着复杂的无线传输环境,这将引入一系列的新问题,例如干扰.一般地,干扰就是不同信号源的信号经过信道衰落后在同一接收机进行叠加,这将严重地影响接收机区分有效信息的能力,导致冲突和重传的增加,致使网络的吞吐量下降,延迟增加,节点能量利用率急剧下降.干扰严重影响网络传输能力及性能,降低干扰可减少冲突和重传,从而减少能量浪费,提高网络吞吐量及寿命.因此,迫切需要研究者们致力于干扰对移动 Ad hoc 网络性能影响的研究,以减小干扰,提高通信质量,改善网络的各项性能;从而提高移动 Ad hoc 网络的效率,提高其服务质量和健壮性,扩大移动 Ad hoc 网络的应用范围,使其成为独立且可靠的重要组网形式,成为现有网络重要且不可或缺的补充.

干扰原来属于 MAC(media access control)层拓扑控制的研究范围,但拓扑控制的目标是节省能量(隐式地降低干扰).目前,MAC 层的拓扑控制尚不能考虑网络流量,而网络流量却是干扰模型的基础.本文首先提出通信量干扰模型,给出节点干扰值、路径干扰值以及平均链路干扰值的计算方式,然后在此基础上,提出通信量相关干扰感知路由协议,在源节点和目的节点之间选择干扰最小的路径对数据包进行转发.

本文第 1 节简述干扰的相关工作.第 2 节详细介绍通信量干扰模型.第 3 节阐述通信量相关干扰感知路由协议.第 4 节通过模拟实验验证我们的通信量干扰模型及路由协议的有效性.第 5 节总结并展望下一步工作.

1 相关工作

一般来说,干扰问题的解决分干扰建模和干扰策略两个步骤来完成.首要的问题是对移动 Ad hoc 网络中的干扰情况进行正确且有效的建模.只有建立完全符合移动 Ad hoc 网络特性、能够真实体现移动 Ad hoc 网络干扰状况的干扰模型,才能有效地达到减小干扰的目的.对移动 Ad hoc 网络的干扰进行建模的过程,就是根据移动 Ad hoc 网络的特性给出干扰发生的原因以及对其如何进行量化的过程.

目前,学者们已提出了若干种干扰模型,一般分为物理模型和基于图的干扰模型两类.基于图的干扰模型,最典型的就是基于邻居节点的干扰模型,另外还有一些是邻居节点干扰模型的变种,如基于通信量的干扰模型.物理模型,即在信号衰减模型基础上建立的基于信噪比 SINR(signal-to-interference-plus-noise ratio)的干扰模型,大多考虑信号功率.

(1) 邻居节点数模型

在各种干扰模型中,最著名的就是文献[1]中提到的邻居节点数模型.该模型认为,节点的所有邻居都会对该节点产生干扰,故而将两个正在通信的节点的覆盖范围内的所有邻居节点的数目定为这条链路的干扰值.或者利用邻居数直接定义某节点的干扰值.

(2) 基于通信量的干扰模型

这类模型在认同邻居节点干扰模型的同时,认为邻居节点上不同的通信量,对该节点的干扰也不同.在建立干扰模型时,于考虑邻居节点的同时,也考虑各节点上的实际通信量情况.比如,文献[2]定义节点的通信干扰为所有邻居的活跃度之和.其中,节点的活跃度是经过该节点的路径条数.文献[3]则将节点所有邻居上的数据发送率叠加起来得到了该节点的干扰值.

(3) 基于信号功率的干扰模型

这类模型一般都针对特殊拓扑计算某个接收节点的信噪比.文献[4]将发送节点置于一个六边形的中心,接收节点位于六边形的顶点上,半径为最大发送距离 R .一个六边形外层的 6 个节点(相邻的发送节点)是第 1 层干扰节点,并且忽略其他节点对接收节点造成的干扰,然后计算该接收节点所受到的干扰大小及信噪比.也有直接利用节点信噪比信息的,如文献[5]通过在 CTS(clear to send)包中携带接收节点的信噪比信息,收到该包的节点判断此信噪比是否大于某个给定门限值,若是,则开始传输,否则,延迟.该方式能够有效地控制网络中的干扰.

建立干扰模型后,针对如何利用量化的干扰信息来抑制干扰对网络性能的影响这一问题,研究者们也提出了若干策略.目前,研究者们大多采用两种方式来考虑解决干扰问题:一种是拓扑控制,另一种是功率控制.也有少数在路由层对干扰问题进行思考.拓扑控制工作在 MAC 层,简单地说,就是在所有链路组成的集合中以减小

干扰为目的,在保证网络连通的前提下,根据一定的规则选择出一部分合适链路,并利用这部分链路进行数据传输.拓扑控制删除了一些干扰较大的链路,网络也变得较为稀疏,因而降低了干扰.典型的拓扑控制算法有文献[1,6,7].功率控制工作在物理层,为链路层提供服务.通过功率控制来减小干扰,包括调整发送功率、接收门限和感知门限等,文献[2,4,8,9]属于这一类.例如,文献[4]通过调整发送功率,在满足一定信噪比的条件下尽量提高数据发送率,进而增加整个网络的吞吐量.

另外还有很多其他控制干扰的方式.文献[2,10]通过在源和目的之间选择干扰最小的路径来避开干扰较大的区域.文献[11]基于信号功率的干扰模型,根据节点所受干扰的历史信息,估算出节点在下一时刻可能受到的干扰值大小,再结合节点可能受到的最大干扰值给出相应路由请求转发概率.文献[12]则给出了在源节点和目的节点之间寻找一条不经过其他任何节点干扰范围的路径的近似算法,但此算法比较复杂.而文献[5]则在 CTS 包中携带接收节点的信噪比信息,收到该包的节点判断此信噪比是否大于某个给定门限值,若是,则开始传输,否则,延迟.改进后的 MAC 层协议能够有效地控制网络中的干扰.

2 通信量干扰模型

文献[1,13]将干扰定义为节点通信范围所覆盖的邻居数目,而文献[10]则将实际的范围扩展至节点的干扰范围,并将这些邻居根据距离进行分类,以邻居数的加权和作为干扰值.这些干扰模型的前提是假设节点周围的其他节点都是其潜在的干扰源.周围的节点越多,其可能受到干扰的机会和程度就越大.但在某个时刻,并不是处在节点干扰区域内的所有节点都会对该节点产生干扰,只有那些同时进行传输的节点才会在此刻对该节点产生干扰.所以,单纯以周围节点的数目来定义节点所受的干扰并不十分精确,而应该同时考虑这些节点上的通信量情况.

2.1 节点的通信量

为了建立基于通信量的干扰模型,首先要得到网络中节点的通信量.由于网络中各节点的通信量是动态分布的,并且会随着节点移动、网络冲突、拥塞等情况而发生变化,所以节点通信量的精确统计并不容易.文献[2]给每个节点设置了活跃度,即经过该节点的路径条数,并定义节点的通信干扰为所有邻居的活跃度之和.文献[3]将所有经过某链路的数据流发送率之和作为该链路的负载,并将干扰该链路的所有链路的负载之和作为该链路的干扰值.

我们定义节点的通信量为节点的平均包发送率,即平均每秒钟发送的包数目.在节点所发送的包中,既包括数据包,也包括控制包,但是由于控制包一般较短,其引发冲突的概率较小,因此可以忽略不计.

为了精确地得到节点的通信量情况,各个节点从 MAC 层搜集通信量信息,并进行实时记录.具体来说,就是各节点每隔 1 秒累计 1 次已发送数据包的数目,这样可以得到一系列的节点包发送率,记作 $T_{i(1)}, T_{i(2)}, T_{i(3)}, \dots, T_{i(N)}$.然后,取最近 n 秒钟的包发送率来求平均值,得到该节点的平均包发送率,见公式(1).

$$T = \frac{T_{i(N-n+1)} + \dots + T_{i(N-3)} + T_{i(N-2)} + T_{i(N-1)} + T_{i(N)}}{n} \quad (1)$$

其中, n 越大,平均包发送率就越能体现网络中各节点上的通信量分布情况.但由于节点上的通信量是动态变化的,当 n 很大时,其平均包发送率反而不能很好地体现通信量的这种动态变化状况;当 n 很小时,节点上的突发数据对通信量的计算影响就会非常明显,求得的通信量将发生明显的震荡.各节点的通信量必须能够反映节点上通信情况的动态变化,也要能避免突发数据造成的通信量剧烈波动.因此, n 值不能太大,否则,不符合移动 Ad hoc 网络的动态特点; n 值也不能太小,否则,通信量将很容易受到突发数据的影响.

2.2 节点的干扰值

当某节点进行发送时,其通信范围内的其他节点不能同时进行发送,否则将引发冲突.节点上的发送活动越频繁,其通信范围内的其他节点发生冲突的可能性就越大,并且需要更大程度地延迟各自的发送.节点的通信量正好反映了节点发送活动的频率.同时,由于节点上的发送活动能够被其通信范围外感知范围内的所有节点感知到,并且会对干扰范围内的接收节点产生干扰^[14],所以节点上的通信量也会对整个感知范围内的节点产生影

响.当节点上的通信量较大时,在其周围将形成一个较强的干扰区域,严重影响邻近节点的通信活动,且通信量越大,其影响越大.因此,可以将节点的通信量视作其对周围邻近节点的干扰值.该值越大,说明其对其他节点的潜在干扰也越大.显然,一个节点所有邻近节点的通信量之和就是该节点可能受到的总干扰值.

假设 S_i 为节点 i 所有邻近节点的集合,则节点 i 的干扰值 I_i 为

$$I_i = \sum_{a \in S_i} T_a \quad (2)$$

文献[10]指出,这些干扰源根据其与本站节点之间距离的大小产生不同程度的干扰:离得越近的节点,其上的通信活动对该节点产生的干扰越大;反之,离得越远,则干扰越小.为了更准确地对移动 Ad hoc 网络干扰进行建模,需要综合考虑所有邻近节点的位置分布情况,因此引入权值来体现不同距离的邻近节点,其上的通信量对本地节点所造成的干扰大小程度也各不相同.

路径损耗公式如公式(3)所示,节点 i 平均每秒受到的来自节点 a 的干扰信号总功率如公式(4)所示:

$$P_r(d) = \frac{P_t \times G_t \times G_r \times (h_t^2 \times h_r^2)}{d^k \times L} \quad (3)$$

$$P_{i(a)} = \frac{T_a \times P_a \times G_a \times G_i \times (h_a^2 \times h_i^2)}{d_{ia}^k \times L} \quad (4)$$

其中,节点 a 到节点 i 的距离为 d_{ia} ,节点 a 的通信量为 T_a , k 为指数,一般 $k \in [2,4]$.发送功率 P_a ,发送节点和接收节点的天线增益 G_a, G_i ,天线高度 h_a, h_i 和系统损耗 L 均为定值.因此,可将 $1/d_{ia}^k$ 作为节点 a 通信量的权值,则由此可得节点 i 的干扰值为

$$I_i = \sum_{a \in S_i} \frac{T_a}{d_{ia}^k} \quad (5)$$

由于通信范围外节点的距离无法直接测得,我们给通信范围外的所有节点一个固定的权值.如果在干扰区域外有若干个节点同时进行发送,虽然这些信号不能单独引起干扰,但是它们叠加起来也有可能造成信噪比低于门限值,从而淹没有效信号.因此,我们将干扰涉及的范围扩大至两倍通信半径即 $2 \times R_T$ 范围内.通信范围外 $2 \times R_T$ 范围内的节点通信量权值,见公式(6):

$$\frac{1}{(R_T + 2R_T)^k / 2^k} = \frac{2^k}{(3R_T)^k} = \left(\frac{2}{3}\right)^k \cdot \frac{1}{R_T^k} \quad (6)$$

综上所述,我们可以得到节点 i 的加权干扰总值,见公式(7):

$$I_i = \sum_{a \in S_{T(i)}} \frac{T_a}{d_{ia}^k} + \sum_{b \in (S_{2T(i)} - S_{T(i)})} \left(\frac{2}{3}\right)^k \cdot \frac{T_b}{(R_T)^k} \quad (7)$$

其中, $S_{T(i)}$ 为节点 i 通信范围内所有邻居节点的集合, $S_{2T(i)}$ 为节点两倍通信半径,即 $2 \times R_T$ 范围内所有节点的集合.

网络中节点干扰值是一种处于不断动态变化过程中的网络状态,获得准确的实时值是非常困难的,并且过于频繁地变化也不利于网络性能控制.所以,利用节点干扰值的历史信息,通过加权时序平均数的方式预测出下一时刻的干扰值,作为控制网络性能的依据.通信量是随机分布的,并且会随着网络冲突、拥塞、节点的移动等情况而发生动态的变化,加权时序平均数方法可以通过加大新历史数据权重,让干扰预测值能够迅速、及时地反映出通信量变化.同时,网络中也可能会出现突发通信量引起节点干扰值的急剧波动,加权时序平均数方法能够平缓突发通信量的影响.

假设节点 i 在 $t(N)$ 时刻的干扰值为 $I_i^{t(N)}$,之前 n 个时刻的干扰值分别为 $I_i^{t(N-n+1)}, \dots, I_i^{t(N-3)}, I_i^{t(N-2)}, I_i^{t(N-1)}$,即可估算出下一时刻 $t(N+1)$ 的干扰值,如公式(8)所示:

$$I_i^{t(N+1)} = \alpha I_i^{t(N)} + \beta I_i^{t(N-1)} + \chi I_i^{t(N-2)} + \delta I_i^{t(N-3)} + \dots + \varepsilon I_i^{t(N-n+1)} \quad (8)$$

其中, $\alpha, \beta, \chi, \delta, \dots, \varepsilon$ 是各时刻干扰值的系数,均为 $[0,1]$ 上的实数.其值越大,说明该时刻的干扰值对下一时刻的干扰值影响越大;值越小,说明其影响越小.当某系数为 0 时,说明该时刻的干扰值对下一时刻干扰值没有影响. $1 \geq \alpha > \beta > \chi > \delta > \dots > \varepsilon \geq 0$,且 $\alpha + \beta + \chi + \delta + \dots + \varepsilon = 1$.

2.3 通信量干扰模型的实现

我们利用已有的 RTS(request to send)/CTS 控制包来实现通信量干扰模型.利用 RTS/CTS 除了开销小、实现方便以外,还使得节点不需要定期地向周围节点广播通信量信息,而只需在有发送活动时才广播通信量信息,避免了不必要的信息重复交换.同时也能及时地反映出通信量的动态变化,使周围节点获取最新、最及时的通信量信息.具体过程如下:

(1) 在 RTS 包中,增加 T 和 TF 两个字段.其中, T 用来存放需要交换的通信量信息, TF 为标志位,若该 RTS 包携带有通信量信息,则为 1,否则为 0.

(2) 为了提取通信量,节点在发送数据包时,在 MAC 层对其数目进行统计.每个节点都有一个计时器,时间设置为 1s.当计时器计时时,节点累加数据包数目,当计时器超时,即可得到最近 1s 内的数据包发送率.然后根据公式(1)可以求得该节点的平均通信量 T .

当计时器处于计时状态时,由于节点尚未统计出通信量值,不需要向周围节点进行广播,因此,将 RTS 包的 TF 位设置为 0.当邻近节点第 1 次收到这个 TF 为 0 的 RTS 包时,采用原有的 RTS/CTS 机制,不做任何其他动作.

当计时器处于超时状态时,节点需要向周围邻近节点广播新的平均通信量,将 TF 位设置为 1.同时将 RTS 包的 TTL 位设为 2,使得 RTS 可以传输两跳,覆盖了节点的两倍通信范围,从而使得两倍通信范围内的所有节点都能收到携带了该节点通信量的 RTS 包,能够获知该节点上的通信量情况.

(3) 当节点第 1 次收到一个 RTS 包后,如果 TF 为 1,就提取该 RTS 包中的通信量信息.此时,该节点需要另外一个计时器,来统计 1s 内所有邻近节点上的通信量加权和,以得到该节点的干扰值.

具体来说,当节点第 1 次收到的 RTS 包的 TF 位为 1 时,如果此时该包的 TTL 为 1,说明该节点在发送 RTS 包的节点的通信范围内.可以根据 RTS 包的接收功率,依照公式(3)计算出这两个节点间的距离 d .此时,该节点的干扰值 I 累加 T/d^k (其中, T 是 RTS 包中携带的通信量信息),并且按照原有 RTS/CTS 机制,抑制自身的通信活动.

如果节点第 1 次收到一个 RTS 包, TF 位为 1,且该包的 TTL 为 0,则说明这个节点在 RTS 发送节点的通信范围以外.这时,将该节点的干扰值 I 增加 $\left(\frac{2}{3}\right)^k \cdot \frac{T}{R_f^k}$.其中, T 是 RTS 包中携带的通信量信息.由于收到该 RTS 包的节点已位于通信范围之外,所以不必抑制自身的通信活动.

按照上述机制,我们得到了节点每秒钟的即时干扰值.然后根据历史记录,按照公式(8)估算出下一时刻该节点可能受到的干扰值大小.

3 通信量相关干扰感知路由协议

根据上述干扰模型的定义,我们得到了网络中各个节点的干扰值,然后采用通信量相关干扰感知路由协议来降低干扰.基于通信量的最小干扰路由协议,简称 TIR,选路机制与平均链路干扰感知路由协议 ALIR(average link interference-aware routing)^[10]类似.TIR 建立在 DSR(dynamic source routing)协议^[15]基础上.采用与 DSR 协议相同的路由机制,可分为两个部分:路由发现和路由维护.主要的区别体现在路由发现过程中.具体过程如下:

(1) 该协议在路由请求包和路由应答包中各自增加一个干扰值 I 字段,用来存放相关的干扰值.在各节点的路由表中也增加一个干扰值 I 字段,用以存放与各路径相关的干扰值信息.

(2) 在路由发现过程中,路由请求包在增加的干扰值 I 字段中记录沿途各节点的干扰值.当路由请求包到达目的节点时,即可对所有中间节点的干扰值求和得到该路径的干扰值.假设网络存在一条从节点 u_0 到节点 u_n 的多跳路径 $P(u_0, u_n): u_0 u_1 u_2 \dots u_{n-1} u_n$,则其路径干扰值可表达为公式(9).

$$I(P) = I(u_0) + I(u_1) + I(u_2) + \dots + I(u_{n-1}) + I(u_n) \quad (9)$$

然后结合该路径的长度即跳数 n ,计算出路径的平均干扰值 $Metric$,见公式(10).

$$Metric(P) = \frac{I(P)}{n} \quad (10)$$

(3) 目的节点收到的每个路由请求包都代表一条从源节点到目的节点的可能路径,并且可以从路由请求包

的干扰值字段获知每条路径上的干扰值信息.目的节点为每个路由请求包都生成一个路由应答包,将完整的路径信息及其平均链路干扰值返回给源节点.平均链路干扰值存放在路由应答包的干扰值 I 字段中.

(4) 源节点收到路由应答包后,即将路径信息连同其对应的平均链路干扰值记录在自己的路由表中.当源节点需要发送数据包时,如果其路由表中已有到达目的节点的路径,则在这些路径中选择平均链路干扰值最小的一条进行数据转发.

(5) 为使路由协议能够适应网络拓扑及通信量分布的动态变化,具有自适应性,除了采用与 DSR 协议相同的路由维护机制外,新协议每隔一段时间将所有节点的路由表清空,然后重新发起一次路由发现过程进行路由更新.

4 模拟实验

本节我们用模拟实验来验证通信量相关干扰感知路由协议 TIR 的性能,比较的对象是 DSR 路由协议和平均链路干扰感知路由协议 ALIR^[10],使用的模拟实验环境是 ns-2 模拟器^[16].

模拟环境和参数:所有节点随机分布在 1000m×1000m 的区域内;节点数为 49;CBR(constant bit rate)数据流随机生成,即每条 CBR 的源节点和目的节点随机选择,并分别考虑了变化数量和固定数量的情况.数据包大小为 512 字节,并分别考虑了固定速率和变化速率的情况;节点传输半径为 150m;节点感知范围为 300m;初始能量为 100;模拟时间为 300s;对于节点的移动性,采用普遍使用的 RWP(random waypoint model)模型,节点的初始位置是随机生成的,节点最小速度为 0m/s,最大速度为 20m/s;MAC 层协议为 802.11 协议(RTS/CTS 机制根据第 2.3 节作了修改);路由层协议为 DSR 协议基础上改进而来的 TIR 协议.另外,在模拟过程中,在计算节点平均通信量时,取最近 5 个连续时刻的通信量求平均值;在计算节点干扰值时,取最近 3 个时刻的干扰值用以估算下一时刻节点的干扰值信息,且 $\alpha=0.5, \beta=0.3, \chi=0.2$.

首先在网络中随机分布 49 个节点,每条 CBR 数据流每秒钟发送 120 个数据包.图 1~图 3 分别是不同 CBR 数据流总数情况下的丢包率、平均延迟和网络吞吐量.然后,固定 CBR 数据流的总数为 12 条,考察不同数据发送率情况下的网络性能.图 4~图 6 分别是不同数据发送率情况下的网络寿命、平均延迟和网络吞吐量.

由图 1 可以看出,当节点数不变时,在不同的负载下,TIR 协议的丢包率比 DSR 协议的丢包率降低 16.26%,并且也低于 ALIR 协议.从图 2 和图 5 可以看出,虽然某些情况下 TIR 的平均延迟不如 DSR 协议,但总体而言,TIR 协议的平均延迟要低于 DSR 协议.图 2 中,TIR 协议的平均延迟比 DSR 协议的要小 63.61%.TIR 在延迟方面对 DSR 协议的改进不明显,然而它却获得了很好的网络吞吐量,并且大大优于 DSR 协议.从图 3 可知,在不同 CBR 数据流情况下,TIR 协议的吞吐量比 DSR 协议的吞吐量增加竟高达 84.17%.由图 6 可得,在不同数据发送率的情况下,TIR 协议的吞吐量比 DSR 协议的吞吐量增加 79.22%.由图 4 可以看出,TIR 协议的网络寿命比 DSR 协议的网络寿命平均延长 7.884s.

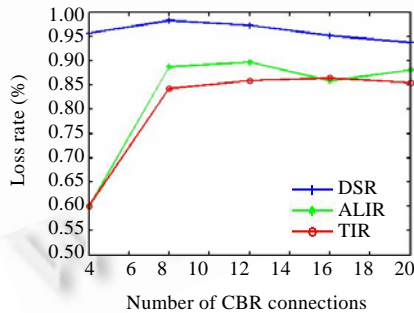


Fig.1 Packet loss under different CBR connection numbers

图 1 不同 CBR 条数时的丢包率

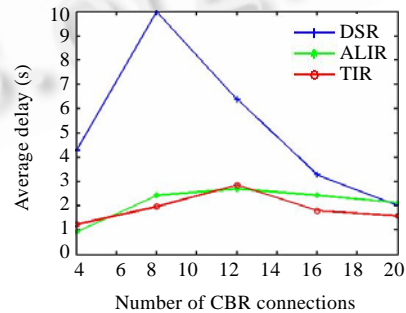


Fig.2 Average delay under different CBR connection numbers

图 2 不同 CBR 条数时的平均延迟

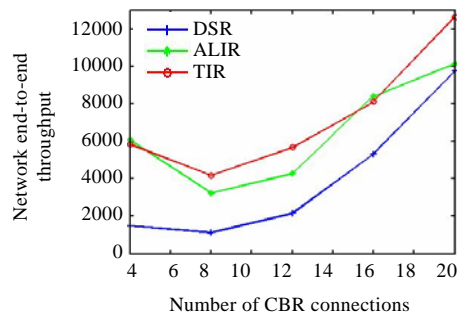


Fig.3 Throughput under different CBR connection numbers

图3 不同 CBR 条数时的吞吐量

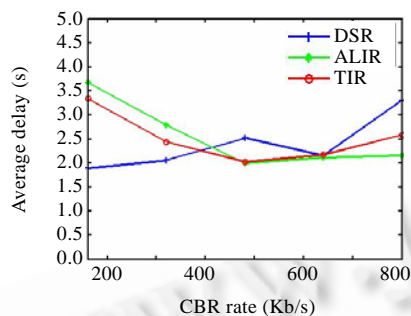


Fig.5 Average delay under different CBR rates

图5 不同数据发送率时的平均延迟

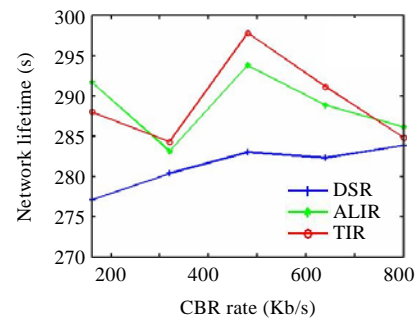


Fig.4 Network lifetime under different CBR connection numbers

图4 不同数据发送率时的网络寿命

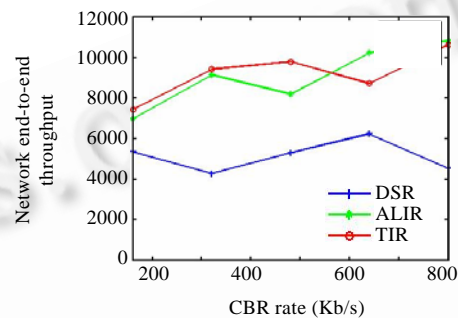


Fig.6 Throughput under different CBR rates

图6 不同数据发送率时的吞吐量

5 结束语

本文提出的通信量干扰模型不但考虑了节点的邻居数目和邻居的分布位置,而且考虑了各邻居上的通信量情况.邻居节点上的通信活动越频繁,发生碰撞冲突的概率就越大,对节点产生的干扰程度也就越大.采用 RTS/CTS 机制实现了通信量干扰模型.利用已有的 RTS 包,除了开销小、实现方便以外,还使得节点不需要定期地向周围节点广播通信量信息,而只需在有发送活动时才进行广播,避免了不必要的信息重复交换.同时也能及时地反映出通信量的动态变化,使周围节点获取最新、最及时的通信量信息.干扰源与接收节点之间距离的远近不同也会造成干扰程度的不同,我们利用 RTS/CTS 机制来测量各邻居节点的距离,并以此作为因子为各节点设置权值.

本文提出的通信量相关的干扰感知路由协议,在路由发现过程中搜集沿途所有中间节点的干扰值,当到达目的节点时,即可累加求和得到路径干扰值,并进一步求得平均链路干扰值.每一个可能路径都向源节点返回一个携带有干扰信息的路由应答包.源节点就按照收到的路由应答包所携带的干扰信息,为数据包选择平均链路干扰值最小的那条路径,进行逐跳转发.大量模拟实验数据表明,通信量干扰模型及其路由协议对移动 Ad hoc 网络的各项性能都有一定的改善.

目前的移动 Ad hoc 网络信道接入协议大多是基于单信道的,其对干扰问题的解决有限.我们的干扰模型也是在单信道基础上提出来的,因而也存在一定的局限性,下一步可以考虑在多信道接入协议基础上来解决干扰问题.另外,本文所采用的信号衰减模型是最简单、最理想的自由空间传播模型,而实际的信号衰减情况可能要复杂得多,所以更进一步的实际应用研究应该针对较为复杂的信号传播模型来进行.最后,我们的所有方案都是在 ns-2 模拟器下实现的.该模拟器虽然功能十分强大,但与实际情况还是有些偏差.所以,为了设计出更为精确、更能反映移动 Ad hoc 网络特性的干扰模型和路由协议,需要在本文工作的基础上采用另一种技术路线,即搭建

测试床来验证有关模型和协议.

References:

- [1] Burkhart M, Rickenbach P, Wattenhofer R, Zollinger A. Does topology control reduce interference? In: Proc. of the ACM MobiHoc. 2004. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=989462>
- [2] Hassanein H, Zhou A. Load-Aware destination-controlled routing for MANETs. Computer Communications, 2003,26(14): 1551–1559.
- [3] Tang J, Xue G, Chandler C, Zhang W. Interference-Aware routing in multihop wireless networks using directional antennas. In: Proc. of the IEEE INFOCOM. 2005. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1497940>
- [4] Kim TS, Lim H, Hou JC. Improving spatial reuse through tuning transmit power, carrier sense threshold, and data rate in multihop wireless networks. In: Proc. of the ACM MobiCom. 2006. 366–377. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1161089.1161131>
- [5] Maniezzo D, Cesana M, Gerla M. IA-MAC: Interference aware MAC for WLANs. Technical Report, 020037, UCLA Computer Science Department, 2002. http://www.cs.ucla.edu/ST/docs/TECHNICAL_REPORT.pdf
- [6] Johansson T, Carr-Motyckova L. Reducing interference in ad hoc networks through topology control. In: Proc. of the ACM/SIGMOBILE Workshop on Foundations of Mobile Computing. 2005. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1080810.1080815>
- [7] Moaveni-Nejad K, Li X. Low-Interference topology control for wireless ad hoc networks. Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, 2005,1(1-2):41–64.
- [8] Tan H, Seah W. Dynamic topology control to reduce interference in MANETs. In: Proc. of the 2nd Int'l Conf. on Mobile Computing and Ubiquitous Networking. 2005. <http://www.ishilab.net/icmu2005/papers/117039-1-050226201619.pdf>
- [9] Krunz M, Muqattash A, Lee S. Transmission power control in wireless ad hoc networks: Challenges, solutions, and open issues. IEEE Network, 2004,18(5):8–14.
- [10] Zhang XM, Liu Q, Shi D, Liu YZ, Yu X. An average link interference-aware routing protocol for mobile ad hoc networks. In: Proc. of the 3rd Int'l Conf. on Wireless and Mobile Communications (ICWMC). 2007. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1261451>
- [11] Liu Q, Zhang XM, Liu YZ, Shi D, Wang EB. Interference-Aware probability forwarding mechanism for mobile ad hoc networks. In: Proc. of the 4th Int'l Conf. on Networked Computing and Advanced Information Management (NCM). 2008. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1445118>
- [12] Kapadia PR, Damani OP. Interference-Constrained wireless coverage in a protocol model. In: Proc. of the MSWiM. 2006. 207–211. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1164717.1164754>
- [13] Blough DM, Leoncini M, Resta G, Santi P. The k -neighbors approach to interference bounded and symmetric topology control in ad hoc networks. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2006,5(9):1267–1282.
- [14] Yang Y, Hou JC, Kung LC. Modeling the effect of transmit power and physical carrier sense in multi-hop wireless networks. In: Proc. of the IEEE INFOCOM. 2007. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=04215857>
- [15] Johnson D, Hu Y, Maltz D. The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks (DSR) for IPv4. IETF RFC 4728, 2007. <http://tools.ietf.org/html/rfc4728>
- [16] NS-2 home page. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>



张信明(1964—),男,安徽天长人,博士,副教授,CCF高级会员,主要研究领域为无线网络,IP网络QoS控制,网络性能分析.



代仕芳(1984—),女,硕博连读生,主要研究领域为无线网络.



刘琼(1982—),女,硕士,主要研究领域为无线网络.



刘永振(1983—),男,硕士生,主要研究领域为无线网络.