

基于节点空闲度的自适应移动 Ad Hoc 网络路由协议*

郭嘉丰^{1,2}, 张信明^{1,2+}, 谢飞^{1,2}, 陈国良^{1,2}

¹(中国科学技术大学 计算机科学技术系,安徽 合肥 230027)

²(国家高性能计算中心(合肥),安徽 合肥 230027)

A Leisure Degree Adaptive Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Network

GUO Jia-Feng^{1,2}, ZHANG Xin-Ming^{1,2+}, XIE Fei^{1,2}, CHEN Guo-Liang^{1,2}

¹(Department of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

²(National High Performance Computing Center at Hefei, Hefei 230027, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-551-3603145, E-mail: xinming@ustc.edu.cn,

<http://cs111.ustc.edu.cn>; <http://www.nhpcc.ustc.edu.cn>

Received 2004-05-24; Accepted 2004-08-10

Guo JF, Zhang XM, Xie F, Chen GL. A leisure degree adaptive routing protocol for mobile ad hoc network. *Journal of Software*, 2005,16(5):960-969. DOI: 10.1360/jos160960

Abstract: The characteristic that nodes can enlist into the network topology freely and independently without any fixed infrastructure makes mobile Ad Hoc networks (MANET) widely used in various environments such as disaster rescue, battlefield and so on. Traditional Ad Hoc network routing protocols are mainly based on the condition "Shortest Path", and possibly form many local "hotspots" to influence the performance of the network. To this point, a new metric "Leisure Degree" is presented for denoting the transmission state of the node. Based on this metric, a cross-layer design method that involves the MAC (medium access control) layer and the network layer is used to present a new routing protocol Leisure Degree Adaptive Routing (LDAR), which uses a heuristic routing select mechanism to efficiently control the congestion and share the load. This method can improve the performance of the Ad Hoc networks. Simulation results show that LDAR performs much better than the DSR routing protocol under the circumstances of both static networks and mobile networks.

Key words: cross-layer design; heuristic; adaptive; routing protocol; mobile ad hoc network

摘要: 节点可以自由、自主地进入网络拓扑并且无须基础网络设施的特性,使得移动 Ad hoc 网络被广泛应用于诸如灾难救援、战场等多种环境中。传统的 Ad hoc 路由协议主要是基于“最短路径”来考虑,会在网络中形成局部的“热点区域”而影响网络的性能。对此,提出了一个新的参数“节点空闲度(leisure degree)”,用来体现节点

* Supported by the Foundation of Science and Technology of Huawei of China under Grant No.YJCB2004036WL (华为科技基金); the Key Postdoctoral Foundation of the Ningbo City of China under Grant No.2003A61003 (宁波市重点博士科学基金); the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2002AA104560 (国家高技术研究发展计划(863))

作者简介: 郭嘉丰(1980—),男,江苏江阴人,硕士生,主要研究领域为计算机网络;张信明(1964—),男,博士,副教授,主要研究领域为计算机网络,操作系统;谢飞(1981—),男,硕士生,主要研究领域为计算机网络;陈国良(1938—),男,教授,博士生导师,中国科学院院士,主要研究领域为并行算法及其应用,并行计算机体系结构。

当前的传输状态.基于这个参数,联合了介质访问控制(media access control,简称 MAC)层和网络层来进行跨层设计,提出了一种新的基于“节点空闲度”的自适应路由协议 LDAR(leisure degree adaptive routing),采用启发式的路由选择机制,有效地实现了拥塞控制和负载分担,提高了移动 Ad hoc 网络的性能.通过模拟实验,结果显示了 LDAR 协议在静态网络和动态网络的环境下,都有比 DSR 协议更好的性能.

关键词: 跨层设计;启发式;自适应;路由协议;移动 Ad Hoc 网络

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

移动 Ad hoc 网络在军事和商业领域都有着重要的应用前景,尤其是在一些特殊的环境中,因某种因素而无法提供网络通信基础设施,用户又需要快速配置通信网络,例如在战场、地震区域,Ad hoc 网络就能很好地满足用户的需求.由于移动 Ad hoc 网络作为一种多跳的无线网络,移动节点之间的数据通信使用了共享的带宽受限的传输信道,节点不可能知道整个网络的全局信息,所以我们需要比较复杂的分布式算法来实现路由、资源管理和控制、安全等.在 Ad hoc 网络中,对于相距多跳距离的两个节点要相互通信,就要使用多跳路由,信包(packet)需要由这条路径上的中间节点进行转发.由于 Ad hoc 网络的拓扑结构经常变化,很难维持最优的路由,所以路由协议必须能够对这种变化快速作出反应.

Ad hoc 网络的路由协议^[1],根据节点获得路由信息的途径分为基于需求的(on-demand)和表驱动的(table-driven)两类.基于需求的路由协议的特点是:只有当有通信的需求时才会产生路由请求,从而达到减少路由代价的目的.节点只需要保存它们作为源节点或者中间节点时,到达它们所需要通信的目的节点的路由;这类协议的主要代表有 AODV(ad hoc on-demand distance vector)^[2],DSR(dynamic source routing)^[3]和 TORA(temporally-ordered routing algorithm)^[4]等;其中动态源路由协议(DSR)的性能要优于许多其他的基于需求的路由协议.表驱动的路由协议的特点是:无论有没有通信在进行,路由信息总是在节点间周期性地进行交流;节点保持一个或多个路由表来存储路由信息,当网络的拓扑结构变化时,通过在整个网络中传播更新消息来保持路由的正确性;这类协议的主要代表有 DSDV(destination-sequenced distance vector)^[5],WRP(wireless routing protocol)^[6]等.

目前,国际上关于 Ad hoc 网络的研究正逐步深入,研究者已经在路由、组播路由、传输调度、功率控制、QoS(quality-of-service)等方面发布了相关的研究成果.在众多的难题中,Ad hoc 网络的路由问题尤其关键,路由协议的研究仍然是 Ad hoc 网络研究成果最集中的部分.经过近年来的研究,DSDV,WRP,AODV,DSR,TORA 和 ZRP(zone routing protocol)等普遍得到认可.但从实现的难度来看,这些协议离实用性还有一定的距离.下一步面临的挑战是传统的路由协议如何适应网络拓扑的动态变化以及如何实现 QoS 等问题^[7,8].国内目前的研究成果主要还是集中在对这些协议的改进^[9,10]上,其他方面的研究也逐步得到重视.

近来的研究表明,传统的网络分层设计的方法,即将路由、调度、流和功率控制分开设计,对于 Ad hoc 这种无线网络来说,并不是有效的设计方法^[11].这主要是由于链路之间通过干涉会产生相互的影响,一条链路的路由选择或功率分配的改变就会影响到它周围区域中其他链路和并不经过这条链路的流的性能.而且传统的路由协议基于“最短路径”的选路方法,存在很多不足之处,例如无法有效地控制拥塞现象、公平性很差、不能有效地节约能量等等.因此,利用跨层设计的思想来设计新的路由协议,改进上述不足之处,从而进一步提高移动 Ad hoc 网络的性能,是本文主要的出发点.

本文第 1 节介绍已有的路由协议存在的问题、提出问题的背景和目的以及主要的解决方案.第 2 节详细描述 LDAR 路由协议,分析它的优点和特性.第 3 节利用模拟实验比较分析 LDAR 协议和 DSR 协议两者的性能.第 4 节总结.

1 相关背景

DSR^[3]协议使用了源路由,每一个分组的分组头中包含整条路由的信息,其优点是中间节点不需要维持当前的路由信息,分组自己带有路由信息;再加上按需路由的特性,就避免了周期性的路由广播和邻节点的检

测.DSR 协议包括两个过程:路由发现和路由维持.在路由发现阶段使用洪泛(flooding)路由.为了减少路由发现过程的开销,每一个节点都包括一个缓存器,存放已经学习到的和用过的路由信息.路由维持过程是源节点用来检测网络拓扑是否发生变化的机制.当拓扑发生变化、源路由发生中断时,源节点会收到一个 Route Error 信息,源节点就试着用缓存中的路由信息,如果不通就重新启动路由发现过程.DSR 在路由选择上是选择最短路径的路由,如果源节点在缓存中有路由信息,则选择最小跳数的那个路由;如果源节点在缓存中没有路由信息,那么启动路由发现过程,并且认为最先回复的路由就是最短路径.

回顾传统的一些路由协议,它们在进行路由选择时主要考虑了“最短路径”这一约束条件^[12],然而却忽略了该路径上的通信量这一情况,这就有可能使得网络中的流集中于某些链路,形成一些“热点区域”,在这些区域中的节点特别繁忙,要为多条数据流转发数据包,而周围区域中的节点却由于经过的通信量很少而相对空闲.这样就可能导致两个问题:(1) 这些“热点区域”有可能出现网络拥塞的现象,导致经过这些区域的数据包经历严重的延迟甚至被丢失;(2) 在这些“热点区域”中的节点由于负载重,而导致能量快速消耗而死亡,而此时空闲区域的节点能量却还比较高,这样会严重地影响网络的寿命,因为网络中第 1 个节点的死亡就会加速整个网络的崩塌,缩短网络寿命,所以我们可以以网络中第 1 个节点的死亡时间作为网络寿命的衡量标准^[13].以 DSR 路由协议作为典型代表,当网络负载比较大时,它就不能避免上述这些情况的出现,因为 DSR 只考虑了最短路由,并且不是自适应的协议,无法对这些情况做出及时的响应.

为了避免这一问题,从而进一步提高 Ad hoc 网络的性能,我们提出了一个新的路由协议——基于节点空闲度的自适应 Ad hoc 无线网络路由协议(LDAR).LDAR 是一种基于需求(on-demand)的路由协议,采用了启发式的路由选择策略.为了实现这一协议,需要联合 MAC 层和网络层来进行设计.LDAR 让每个节点保存了当前该节点的“节点空闲度”这一参数,它是在 MAC 层计算得到的.所谓节点的“空闲度”,其实是体现了节点当前的一种传输状态,“空闲度”越大,说明节点当前接受更多负载的能力越强,从相对意义上来说,就认为节点越“空闲”.在网络层,LDAR 协议的路由包采集它经过的每个节点的“空闲度”,在源节点处为路由选择提供依据.LDAR 协议通过这一机制达到了如下目的:(1) 尽量使流绕开网络中的“热点区域”,控制网络中的拥塞现象,从而可以减少数据包的平均端到端延迟;(2) 实现了网络中的负载分担,延长了节点的寿命,从而也延长了网络中流的存活时间.下面将具体描述 LDAR 协议.

2 LDAR 协议

2.1 协议描述

在基于最短路径考虑的路由算法的网络中会存在一些承担特别大通通信量的繁忙节点,相应地会存在一些承担相对较少通信量的空闲节点.这些空闲节点由于并不在所谓的最短路径上从而得不到很好的利用.大量的数据包涌入繁忙节点,不但极大地增加了繁忙节点的能量消耗,同时也会产生严重的阻塞甚至丢包.我们希望能够避免这种一部分节点超负荷工作,而另外一部分节点却得不到转发数据包机会的现象.

我们提出一个描述网络中节点传输状态的量 L_i ,称为节点 i 的空闲度(leisure degree), L_i 值越大,代表节点 i 当前接受负载的能力越强,也就是相对的越“空闲”.对 L_i 有一个启发式的定义式如下:

$$L_i = \frac{T_x R_i}{R_{cv} R_i^2} \quad (1)$$

其中 $T_x R_i$ 称为节点的发送率(transmission rate),代表节点发送数据包的速率; $R_{cv} R_i$ 称为节点的接收率(receiving rate),代表节点接收数据包的速率.每隔 T 秒的采样时间,计算节点发送和接收数据包的速率.在我们的工作中, T 被设为 6s.对于 $T_x R_i$ 和 $R_{cv} R_i$ 的实际值,使用著名的指数加权移动平均法(见式(2)、式(3)),分别根据 $T_x R_{old}$, $T_x R_{sample}$ 和 $R_{cv} R_{old}$, $R_{cv} R_{sample}$ 进行预测.

$$T_x R_i = \alpha \times T_x R_{old} + (1 - \alpha) \times T_x R_{sample} \quad (2)$$

$$R_{cv} R_i = \alpha \times R_{cv} R_{old} + (1 - \alpha) \times R_{cv} R_{sample} \quad (3)$$

为了更好地反映当前的节点状态,设 $\alpha=0.3$ 给当前的采样值 $T_x R_{sample}$ 和 $R_{cv} R_{sample}$ 更高的优先权.节点的传输

状态可以根据节点收发数据包的情况来描述,节点发送数据包就增大了它的空闲度,节点接收数据包就减少了它的空闲度;接收是转发的前提,所以要给式(1)中的 $RcvR_i$ 更高的阶数以体现这种主导作用。

设有路由 $r_i = n_s, n_1, n_2, \dots, n_d$, 其中 n_s 是源节点, n_d 是目的节点, 显然跳数 $HopCount(r_i) \geq 1$ 。我们定义该路由的空闲度 L_{r_i} 如下:

$$L_{r_i} = \begin{cases} \text{MaxValue} & HopCount(r_i) = 1 \\ \min_{n_j \in r_i, n_j \neq n_s, n_d} (L_{n_j}) & HopCount(r_i) > 1 \end{cases} \quad (4)$$

Maxvalue 是设定的一个最大值,用来使一跳路由有最大的空闲度。非一跳路由则以路由中所有中间节点空闲度的最小值作为空闲度。我们的路由选择机制可以描述为:对于给定的源节点 n_s 和目的节点 n_d ,有一个所有可能的路由的集合 r 。如果 $r \neq \emptyset$,我们选择满足 $\max_{r_i \in r} (L_{r_i})$ 的路由 r_i 作为 n_s 到 n_d 的路由。

下面的一个例子描述了 LDAR 算法如何避开“热点区域”,选择最佳路由(见图 1 和表 1)。图 1 中的字母代表不同的节点,数字代表节点的空闲度,两节点间的连线表示它们可以相互通信。表 1 列出了从源 S 到目的节点 D 的所有可能路径,冒号后是路径的空闲度。从表 1 可以看出,LDAR 将选择空闲度最大的 1 号路径 $S \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow D$ 作为 S 到 D 的路由,这样就避开了繁忙节点 C 。

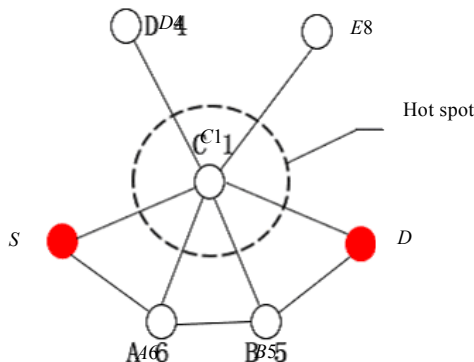


Fig.1 Example
图 1 例子

Table 1 Routing according to L_i
表 1 根据 L_i 值选路

Hops \ Route	1	2	3	4
1	$S \rightarrow A:6$	$S \rightarrow A \rightarrow B:5$	$S \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow D:5$	
2		$S \rightarrow A \rightarrow C:1$	$S \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow D:1$	
3			$S \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow B:1$	$S \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D:1$
4	$S \rightarrow C:1$	$S \rightarrow C \rightarrow D:1$		
5		$S \rightarrow C \rightarrow B:1$	$S \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D:1$	
6		$S \rightarrow C \rightarrow A:1$	$S \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow B:1$	$S \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow D:1$

上面采用了启发式路由选择机制,从而使选择的路由能够尽量避开繁忙节点.这样数据包可以“绕开”网络中的“热点区域”,从而减少阻塞的情况,提高了端到端延迟.同时,充分利用网络中空闲节点的传输能力,达到负载均衡的效果,在能量有限的情况下有效地增大了流的存活时间。

2.2 协议实现

LDAR 将空闲度 L_i 作为新的域加入包的公共头部(如图 2 所示),在发出的包传输到 MAC 层时,首先判断此包是否为自身发出的包,如果是,则表明该节点是源节点或者目的节点,这时无须对 L_i 域进行修改;如果不是,则将节点当前的 L_i 值和包的 L_i 域的值进行比较,当前者小于后者时,对包的 L_i 域的值进行更新。

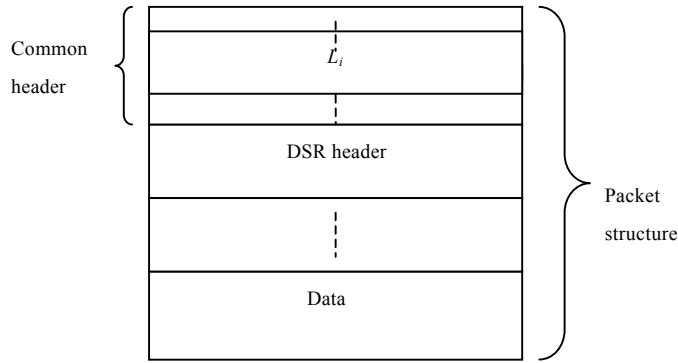


Fig.2 Modified packet structure

图 2 修改后的包结构

对于路由发现和维护机制,LDAR 采用和 DSR^[3]一样的机制,只是在路由发现过程中,由于 LDAR 采用修改了的 MAC802.11 协议,使得在 Route_Request 和 Route_Reply 分组中都包含了 L_i 域,用来保存途经的路由上当前最小的节点空闲度值,每当找到一条路由 Route_Reply 分组返回到源节点时, L_i 域中的值就是该路由上所有节点的节点空闲度的最小值,LDAR 在将该路由存入缓存时也将 L_i 值保存在该路由的 path_min_L 域中.在路由选择机制上 LDAR 与 DSR 不同,DSR 中源节点选择最短路径路由,并且只要路由不中断就不再改变,而 LDAR 的源节点则是对所有找到的路由进行选择,选 path_min_L 值最大的路由.

3 模拟实验

在这一节,我们用模拟实验来验证 LDAR 协议的性能,比较的对象是 DSR 路由协议,使用的模拟实验环境是 NS-2 模拟器^[14].仿真环境:数据包:512 字节;节点传输范围:250m;初始能量:100;模拟时间:300s;节点数:49;连接数:12;Mac 层协议:按文中修改后的 802.11 协议;节点队列长度:50;节点队列类型:CMUPriQueue;信道传输速率:2Mbps.

3.1 静态网络

每次模拟的时间是 300s,每次生成 12 条 CBR(constant bit rate)的数据流,使用的静态网络拓扑结构如图 3 所示.

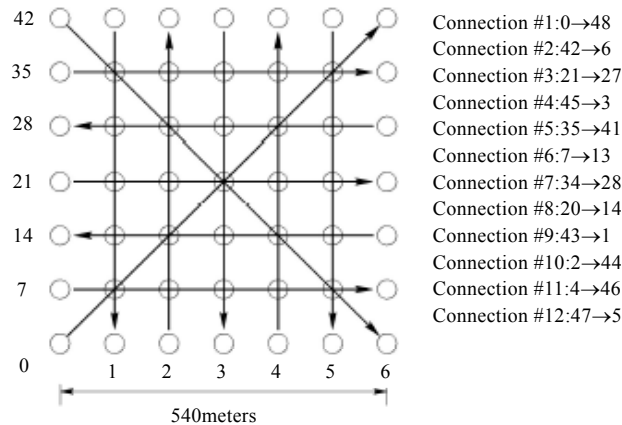


Fig.3 Network topology

图 3 网络拓扑结构

数据包的大小是 512 字节,每个节点的传输范围固定为 250m,每个节点初始化能量为 100.不断改变 12 条数据流的发送速率,从每秒 50 个数据包一直增长到每秒 500 个数据包,从而模拟不同的负载情况.在性能方面,

主要着眼于数据流的平均端到端延迟、网络寿命、各条数据流的存活时间以及端到端的吞吐量.其中网络寿命如前所述,采用网络中第 1 个节点的死亡时间作为网络寿命.

图 4 显示了在不同的网络负载下,数据包的平均端到端延迟性能.

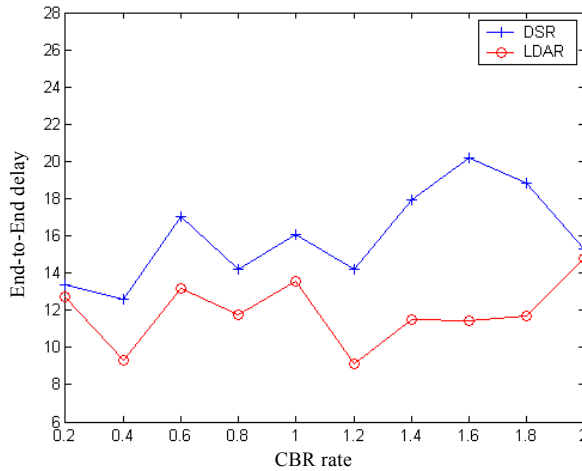


Fig.4 Average delays under various loads

图 4 不同负载下的平均端到端延迟

从中可以发现,使用 LDAR 协议的 Ad hoc 网络在不同的负载情况下,数据包的平均端到端延迟都比 DSR 要小,大约平均减少了 25.4%.而我们也注意到,当 CBR 数据源发送速率达到 2MB 时,DSR 协议的数据包平均端到端延迟有一个明显的下降,这似乎很不可思议,经过仔细地分析数据,发现原来在这种情况下,连接 2:42→6 始终没有数据传输,而连接 6:7→13 和连接 12:47→5 这两条数据流也依次在 53s 和 79s 左右早早死亡,从而降低了整个网络的负载,使得其余数据包的端到端延迟有了改善.除此之外,我们还注意到,在数据率为 0.8Mbps, 1.0Mbps, 1.2Mbps, 1.6Mbps 时使用 DSR 协议的网络中都有数据流过早死亡的现象出现,它们死亡的时间远远早于我们定义的网络寿命的时间,这说明在网络断开之前,DSR 就无法实现某些数据流的传输,这是 DSR 的一大缺陷,而 LDAR 协议则不存在这些数据流过早死亡的问题.各条连接的存活时间可由图 5 具体表示.

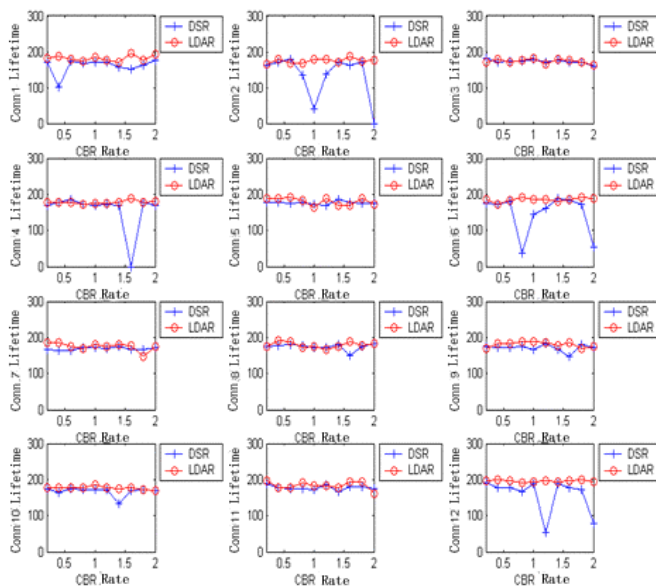


Fig.5 Expiration time of connections

图 5 各条连接的死亡时间

从图 5 可以看出,在相同初始化能量的情况下,LDAR 协议中各条连接的存活时间都比较均衡,达到了很好的公平性,相反,DSR 中连接的存活时间有比较大的波动,无法实现各条流之间的公平性.

然后我们比较两种协议下网络的寿命,图 6 显示了在不同负载下的模拟结果.

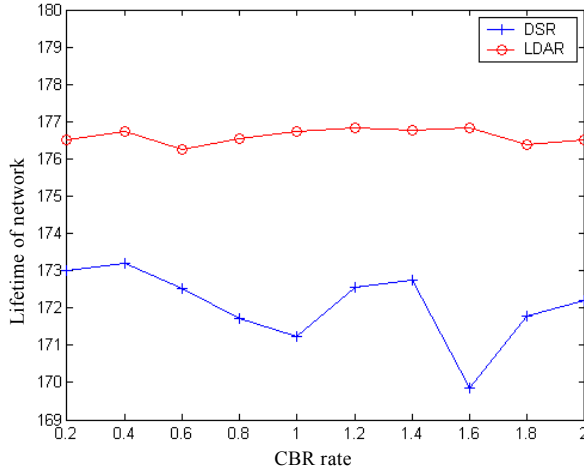


Fig.6 Network lifetime under various loads

图 6 不同负载下的网络寿命

模拟实验的结果表明,使用 LDAR 协议的 Ad hoc 网络寿命始终保持在 176s~177s 之间,而 DSR 协议下的网络寿命均在 174s 以下,而且有很大的波动范围,在数据率为 1.6Mbps 时网络在 170s 之前就死亡了.使用 LDAR 协议的网络寿命比使用 DSR 协议的网络寿命平均增长了 2.6%,这说明 LDAR 协议的确起到了负载分担的功能,使得节点的寿命得到了延长.

图 7 表明了在不同的路由协议下的网络端到端吞吐量,从实验数据分析得到,使用 LDAR 协议的网络和使用 DSR 协议的网络相比,端到端吞吐量平均提高了 3.9%,所以 LDAR 协议在实现网络的负载分担的同时,对网络的吞吐量的提高也是有帮助的,但是这个提高比较微弱,主要是因为 LDAR 协议中需要不断更新路由来实现自适应,这样会增加网络额外开销,在一定程度上对网络中数据流的吞吐量产生了负面的影响.

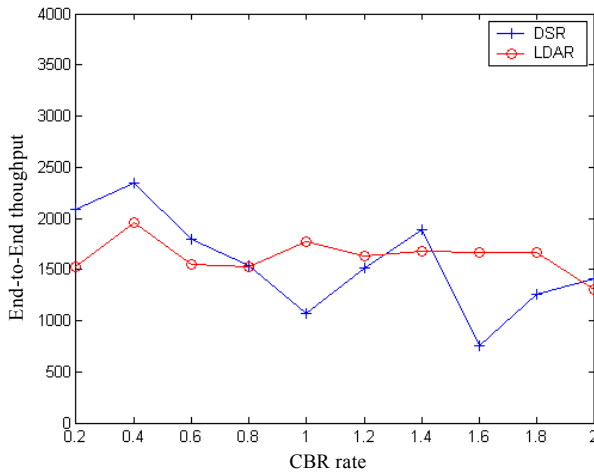


Fig.7 Network end-to-end throughput

图 7 不同负载下的网络端到端吞吐量

3.2 动态网络

引入节点的移动来考虑在动态的环境下 LDAR 协议和 DSR 协议的性能;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,节点的最大运动速度为 20m/s,通过使用停顿时间为 0s 来体现网络拓扑结构的不停变化.每次实验生成 49 个节点,12 条 CBR 的数据流,为了防止节点过于集中,设定节点分布的范围为 1000m×1000m.实验主要分析了在不同的数据发送率(0.2Mbps~1Mbps)下,网络的平均端到端延迟、网络寿命和网络的端到端吞吐量.

图 8 显示了在动态环境下,两种协议的平均端到端延迟性能,实验结果显示,LDAR 协议的平均端到端延迟比 DSR 协议平均减少了 21.7%.而且可以发现,当网络的负载不断增大,网络中的“繁忙”节点逐渐增多时,LDAR 协议和 DSR 协议相比,平均端到端延迟的减少量也不断增大.

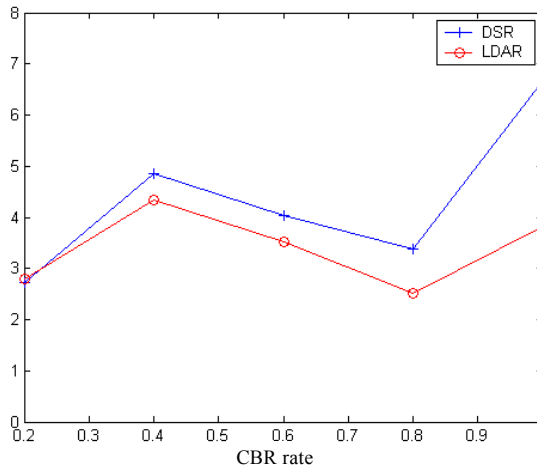


Fig.8 Average end-to-end delay under various loads in dynamic environment

图 8 动态网络中不同负载下的平均网络端到端延迟

图 9 是在不同的 CBR 数据率下,网络寿命的变化,LDAR 在动态环境中同样比较好地实现了负载分担的功能,使得网络的寿命得到了增长,平均提高了 2.3%,这和静态网络中性能的提高差不多.

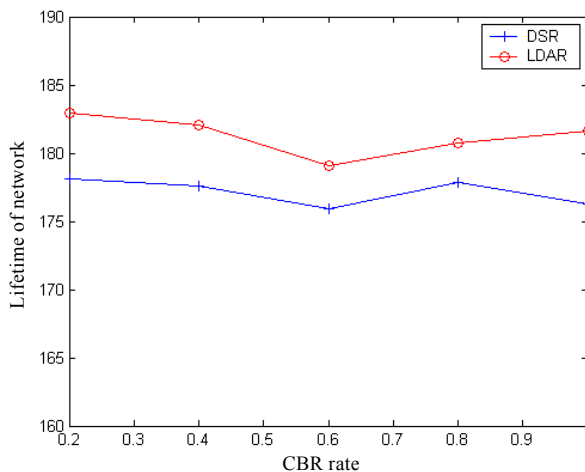


Fig.9 Network lifetime under various loads in dynamic environment

图 9 动态网络中不同负载下的网络寿命

另外,图 10 显示了在动态网络中,在不同的负载下,LDAR 协议的网络端到端吞吐量比 DSR 协议提高了很

多,大约增加了 1.7 倍.

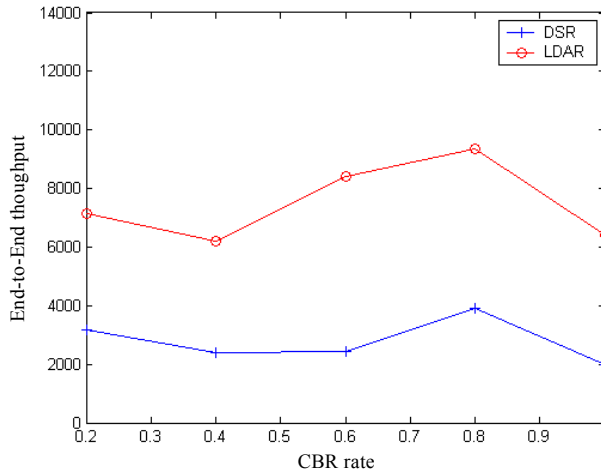


Fig.10 End-to-End throughput under various loads in dynamic environment

图 10 动态网络中不同负载下的端到端吞吐量

从上述模拟实验的结果来看,不论在静态还是动态的网络环境中,“节点空闲度”都能很好地反映网络中节点当前的传输状态,标记出网络中的“热点区域”,从而使得 LDAR 协议可以利用这一特性,自适应地、聪明地选择路由,达到优化 Ad hoc 网络性能的目的.

不同的网络节点密度对采用 LDAR 对网络性能的影响我们也有研究.首先,LDAR 协议是对网络负载重时有很好的作用,如果网络负载很轻,那么 DSR 就已经很有效了,所以对于不同的节点密度,当节点密度降低时,我们仍然需要保证网络中负载比较重才有意义.我们不断降低节点数目以降低节点密度,分别对 36,25,16,9 个节点的拓扑结构进行了实验.从实验结果来看,由于节点密度的降低,每个连接可选的路由数目迅速减少,而且很多路由都出现拥塞严重的现象,这时,LDAR 协议的负载分担的功能将受到非常大的削弱,节点密度的减少使得 LDAR 协议选择更好的路由避开“热点区域”的可能性大幅降低,从而使得 LDAR 协议和 DSR 协议性能相当甚至更差,因为 LDAR 的自适应机制将产生额外的寻找路由的分组,加重了网络的负担,而此时不能通过有效的选路来加以避免.

4 结束语

在本文中,我们针对传统的路由协议不考虑最短路径上的“热点区域”的问题,提出了一种基于需求的自适应分布式路由协议 LDAR.使用跨层设计的方法,在 MAC 层对数据包的接收和发送速率进行统计和预测,在此基础上定义了一个体现节点当前传输状态的参数——“节点空闲度”;在网络层,基于这个参数,LDAR 协议采用启发式的选路机制进行选路,使得数据流可以避开 Ad hoc 网络中的“热点区域”,减少数据包的端到端延迟,同时也实现了网络中的负载分担,减少了繁忙节点的负荷,从而延长了整个网络的寿命.模拟实验的结果表明,LDAR 协议与 DSR 协议相比有了很大的改进,同时 LDAR 也体现了很好的稳定性和公平性.在下一阶段的工作中,我们希望能进一步研究节点的移动性对 LDAR 协议的具体影响,使得 LDAR 在动态环境下有更好的稳定性.

References:

- [1] Abolhasan M, Wysocki T, Dutkiewicz E, Abolhasan M. A review of routing protocols for mobile ad hoc networks. *Ad Hoc Networks*, 2004,2:1-22.
- [2] Perkins CE, Belding-Royer E, Das S. Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing. IETF RFC3561, 2003.

- [3] Johnson DB, Maltz DA, Hu YC. The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks (DSR). IETF draft-ietf-manet-dsr-10.txt, 2004.
- [4] Park VD, Corson MS. Temporally-Ordered routing algorithm (TORA) version 1 functional specification. IETF Draft, draft-ietf-manet-tora-spec-04.txt, 2001.
- [5] Perkins CE, Bhagwat P. Highly dynamic destination—sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers. In: Proc. of the ACM SIGCOMM'94. New York: ACM Press, 1994. 234–244.
- [6] Murthy S, Barcia-Luna-Aceves JJ. An efficient routing protocol for wireless networks. ACM Mobile Networks and Applications Journal, Special issue on Routing in Mobile Communication Networks, 1996,1(2):183–193.
- [7] Hwang Y, Varshney P. An adaptive QoS routing protocol with dispersity for ad-hoc networks. In: Sprague RH, ed. Proc. of the 36th Hawaii Int'l Conf. on System Sciences (HICSS 2003). IEEE Computer Society Press, 2003. <http://csdl.computer.org/comp/proceedings/hicss/2003/1874/09/187490302a.pdf>
- [8] Gerasimov I, Simon R. Performance analysis for ad hoc QoS routing protocols. In: Notare M, Boukerche A, eds. Proc. of the Int'l Mobility and Wireless Access Workshop (MobiWac 2002). IEEE Computer Society Press, 2002. <http://cs.gmu.edu/~simon/research.html>
- [9] Xiong Y, Miao FY, Wang XP. LSCR: A link state-based cluster routing protocol of mobile ad hoc network. Acta Electronica Sinica, 2003,31(5):645–648 (in Chinese with English abstract).
- [10] Zang WY, Yu M, Xie L, Sun ZX. A survey of on-demand routing protocols for ad hoc mobile networks. Chinese Journal of Computers, 2002,25(10):1009–1017 (in Chinese with English abstract).
- [11] Goldsmith A, Wicker S. Design challenges for energy-constrained ad hoc wireless networks. IEEE Wireless Communications, 2002, 9(4):8–27.
- [12] Maltz DA, Broch J, Jetcheva J. The effects of on-demand behavior in routing protocols for multihop wireless ad hoc networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999,17(8):1439–1453.
- [13] Chang JH, Tassiulas L. Routing for maximum system lifetime in wireless ad-hoc networks. In: Hajek B, Sreevivas RS, eds. Proc. of the 37th Annual Allerton Conf. on Communication Control and Computing. 1999. <http://www.isr.umd.edu/~jhchang/publ/allerton99.ps.gz>
- [14] <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

附中文参考文献:

- [9] 熊焰,苗付友,王行甫.LSCR:一种 Mobile Ad Hoc 网络链路状态分组路由算法.电子学报,2003,31(5):645–648.
- [10] 臧婉瑜,于勤,谢立,孙钟秀.按需式 Ad Hoc 移动网络路由协议的研究进展.计算机学报,2002,25(10):1009–1017.