一种基于 AODV 路由协议改进的无线 Mesh 路由协议

刘邵华[1],黄廷磊[2],夏 锋[1]
(1.桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院,广西 桂林 541004;
2.桂林电子科技大学 计算机控制与工程学院,广西 桂林 541004)

摘 要:在分析经典路由协议 AODV 的基础上,结合 Mesh 网络的特点,提出了一种新的路由协议 AODV-LS。新的路由协议根据节点带宽以及实时负载量这两个参数计算出节点权重值,根据节点权重值评估链路的性能,根据链路性能选择最优路径。实验结果表明,AODV-LS 协议在数据分组投递率、端到端延时和标准化路由负载方面都优于 AODV。

关键词:AODV;节点权重值;分组投递率;端到端延时
中图分类号:TN92 **文献标识码**:A **文章编号**:1674-7720(2013)04-0054-04

An improved wireless mesh routing protocol based on AODV routing protocol

Liu Shaohua[1], Huang Tinglei[2], Xia Feng[1]
(1.College of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;
2.College of Computer Science and Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Based on the analysis of classical routing protocol AODV, combining the characteristic of Mesh network, this paper proposed a new routing protocol AODV-LS. The new routing protocol calculates node weight value according to the bandwidth and real-time load. The the choose of optimal path based on the link performance which evaluated by node weight value. The experimental results show that the data packet delivery ratio, end-to-end delay and normalized routing load in AODV-LS protocol are better than AODV.

Key words: AODV; link weighing; packet delivery ratio; end-to-end delay

无线 Mesh 网络结合了 Ad Hoc 网络和传统固定网络的特点,具有高性能、低功耗、自组织、自配置的特点,因此 Mesh 网络成为家庭网络、社区宽带网络、企业内部网络的优先选择[1]。对于 Mesh 网络来说,关键问题在于如何实现高品质的路由协议,协议不但要能够及时应对网络拓扑的动态变化,还要实现多跳传输的质量服务。

Mesh 网络目前使用的路由协议基本上都是从 Ad Hoc 移植过来的,AODV 作为 Ad Hoc 网络经典的路由协议,适用于动态的、多变的 Ad Hoc 网络,它同多数其他 Ad Hoc 路由协议(如 DSR、DSDV 等)一样,采用最短路径路由算法,但是大量的实验和实践证明了该算法并不适用于无线 Mesh 环境,主要是因为它以源节点到目的节点的跳数作为路由评价的标准,然而跳数最少的路径在实际中未必是最优的[2-3]。如当跳数最少路径上的节点严重过载时,就会引起大量数据包丢失,增加延迟和降低网络性能。在 Mesh 中,由于 802.11 MAC 采用的是分布式协调功能,在同一时刻的冲突域内只允许两个节点进行通信,另外在冲突域内存在隐藏节点和暴露节点,当网络负担较重时,无线网络的性能下降尤为突出,网络吞吐性能远低于理论值[4-5]。

由于 Ad Hoc 路由协议先天不足,以及 Mesh 网络自身的特殊性,现有的 Ad Hoc 路由协议不能满足 Mesh 网络的要求,因此本文提出了新的路由算法 AODV-LS。

1 AODV 算法

AODV 是基于 DSDV 和 DSR 提出的一种按需路由。AODV 协议当中一个重要的特点就是添加了序列号,可以有效地阻止计数无穷大和路由环路问题。在 AODV 中每个节点维护一个路由表来记录从路由包中获得的路由信息。当源节点需要发数据时,会查看自己的路由表里有没有该条路径,如果有,则按照路由表项中的信息直接转发数据;否则发起一个路由发现过程。首先,源节

点创建一个 RREQ 包并广播，当邻居节点接收到 RREQ 包时，该节点将 RREQ 包中的跳数值加 1 并在自己的路由表中创建一个反向路由，如果该节点就是目的节点或者该节点存在到达目的节点的路由表项，则该节点就向源节点发送 RREP，否则它只广播 RREQ。

RREP 的传播是由目的节点向源节点单播完成的。当一个节点收到 RREP 之后，创建正向路由表项，其中包含目的节点和下一跳节点。根据反向路由表继续传播 RREP，直到 RREP 被源节点接收到。节点移动可以破坏之前的路由，为了增加成功的数据传输率，本地节点能够修复损坏的链路。发生断路时，网络的上游节点向目的地发送 RREQ，为了避免环路，应该将 RREQ 中目的节点的序列号加 1。若本地修复成功，目的节点或者包含目的节点路由信息的中间节点创建 RREP；如果节点修复失败，则向源节点发送一个 RERR 包，源节点则重新创建新的 RREQ，重新开始路由发现过程[6]。

2 改进的 AODV-LS 路由协议

2.1 AODV-LS 路由选择量度

AODV-LS 中组合量度使用带宽、缓存饱和度两个参数。本文采用了基于 NAV[5]的统计来估算可用带宽，节点所在信道的空闲时间是一个很重要的参数，由节点以及邻居节点的业务量综合决定，在这段时间内节点可以成功地传输数据。$B_i=B\times T_i/T_c$，其中 B_i 为节点的实时可用带宽，B 为信道带宽，T_c 为观察时间，T_i 为在观察时间内的信道空闲时间。这里还考虑了节点缓存队列饱和度的影响，如果节点缓冲队列已满，网络发生拥塞会引起网路性能的急剧下降，例如时延增大、丢包率增加等。如果在路由发现时考虑节点负载状态，将会降低拥塞，提高网络性能。本文定义缓存饱和度为缓存节点的包的数量与允许缓存的额定包数之比，定义为 $r_i=C_i/C_m$，其中，C_m 为缓冲队列最大值，C_i 是缓冲队列中包数值。

节点负载越大，缓冲越接近饱和，其同邻居节点间的链路则越繁忙，可用带宽越少，因而通信传输代价同时也就越高。节点 i 的链路权重 X_i 计算如下：

$$X_i=[B_i/B+(1-\mathrm{Rti})+(1-\mathrm{Rgi})]\times 10$$

其中，Rti 表示发送缓冲饱和度，Rgi 代表接收缓冲队列饱和度。并且一条链路的关键因素是所有中间节点权重的最小值：$\mathrm{Xmi}=\min(X_1,X_2,X_3,X_4,\cdots,X_{h-1})$，$h$ 为该条路径的跳数。若 Xmi 越大，说明该条链路负载越少；Xmi 越小，说明该条路径上负载越大。为了综合考虑链路状况，还要考虑路由节点的链路权重之和，即：

$$\mathrm{Wj}=\mathrm{sum}(X_1+X_2+X_3,\cdots,X_{h-1})$$

最后给出路由判定量度组合：

$$\mathrm{Pj}=\alpha\times\mathrm{Xmi}+(\beta\times\mathrm{Wj})/(h-1)$$

式中 α、β 值的选取通过试验获得，且 $\alpha+\beta=1$。为了尽量避开负载较重的节点，在源节点到目的节点之间找到一条负载较轻的路径，赋予 α 较大的权重。

2.2 路由发现与建立

2.2.1 请求报文与数据报文

(1)路由请求报文 RREQ，包括 Type，Hops，RequestNo，DestinationIP，OriginatorIP，PreNode，Xmi，Wj。

(2)路由响应报文 RREP，包括 Type，Hops，RequestNo，DestinationIP，OriginatorIP，PreNode，RREQSrc，Xmi，Wj。

2.2.2 路由发现过程

每个节点都保留一个路由表，用来存储节点所需要的路由信息，其表项是一个向量（Destination，NextHop，Wj，Hops，Pj，S，X，Xmi，LF），其中 Destination 表示目的网络，NextHop 为到达目的网络的下一跳，Wj 为从该节点到达目的网络的累计链路权重，Hops 为从该节点达到目的网络的累计跳数，S 为路由发现发起的节点，X 为路由请求序号，LF 为路由表项的生存时间。

(1)当源节点 s 要向目的地 d 转发数据时，若存在 s 到 d 的路由，则转发数据即可；如果不存在 s 到 d 的路由信息，则创建 RREQ 报文并广播，RREQ 中 Type=1，Hops=0，Xmi=0，Wj=0，DestinationIP=d，OriginatorIP=s，PreNode=s，RequestNo=（当前节点最新的路由请求序号+1）。

(2)当节点 k 接收到 RREQ 包时，首先查看自身的权重值，如果自身的权重值超过了规定的权重值范围，则直接扔掉该 RREQ 报文，否则创建反向路由向量，并且用 RREQ 报文中的值来填充该路由向量（s，RREQ.PreNode，RREQ.Wj，RREQ.Hops，α ×RREQ.Xmi +β ×RREQ.Wj/(RREQ.Hops-1)，RREQ.RequestNo，RREQ.Xmi，LF）。如果 k≠d，并且 k 中不含有到达 d 的向量，则修改 RREQ 报文，若 RREQ.Xmi<k.Xmi，则 RREQ.Xmi=k.Xmi，否则 RREQ.Xmi 保持不变，RREQ.Hops=RREQ.Hops+1，RREQ.PreNode=k，RREQ.Wj+k.Xmi，修改后的报文继续广播。如果 k=d 或者 k 的路由表中存在到达 d 的路径，则产生回复报文 RREP，RREP 中 Type=2，RREP.RequestNo=RREQ.RequestNo，RREP.OriginatorIP=d，RREP.RREQSrc=RREQ.OriginatorIP，RREP.DestinationIP=RREQ.PreNode，如果 k=d，则 RREP.Hops=0，RREP.Xmi=0，RREP.Wj=0，若 k 路由表中存在到达 d 的向量，则 RREP.Hops=RT.Hops，RREP.Xmi=min(K.Xmi，RT.Xmi)，RREP.Wj=RT.Wj+k.Xmi（这里假设 RT 是该节点到目的地的向量），构造响应报文之后以单播的方式转发。

(3)当节点 h 收到 RREP 之后，构造 h 到下跳节点的正向路由向量（d，RREP.PreNode，RREP.Wj，RREP.Hops，RREP.Pj，RREP.RREQSrc，RREP.RequestNo，RREP.Xmi，LF），如果 h 不是 s，则更新 RREP 继续单播下去，直至源节点 s 接收到 RREP。

在寻找路由定时器超时前，如果源节点 s 收到相对应的 RREP 报文，则构建从 s 到 d 的路由向量。如果在定时器时间内源节点 s 收到多个 RREP 回应，本设计选择前 3 个做比较。从中选择链路值最大的一个回应。如果出现链路值相等的情况，则选择链路最短的一个。考

虑到链路的延时问题，接收到 3 个 RREP 包后多余的就直接放弃。

2.3 路由维护过程

AODV-LS 协议在路由维护方面也做了较大改变。在协议中，每个节点周期性地发送 HELLO 报文，用于同邻居节点交换状态信息。

(1)当链路断开时，节点 a 不可达，这里假设 a 节点的下游节点到目的节点的路由仍然是有效的，则 a 节点的上游节点创建 RREQ 报文，并且把 TTL 设置为 3，以此来限制广播 RREQ 的范围。举例：图 1 中原始路由是 S-A-B-C-D，当 B 不可达时，节点 A 产生 RREQ 报文广播，如果节点 E 收到报文并且自身的权重值满足路由要求时，则 E 节点创建反向路由，并且继续广播包，如果此时 C 收到 RREQ 报文，并且 C 到 D 的路由还有效，则产生本地修复 RREP 报文并发送给节点 A。当节点 E 接收到 RREP 报文，并且自身的链路权重满足路由要求时，则产生正向路由向量，至此路由恢复过程完成，新的路径变为 S-A-E-C-D。

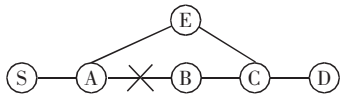

图 1 路由断开及恢复

如果一个本地修复请求到期时，则断路节点的上游节点产生 RERR 报文，通知源节点本条路由已断路，如果需要，重新发起路由请求。

(2)节点过载的路由维护。AODV-LS 中节点 a 发送的 HELLO 报文，还会计算 a 与邻居的链路权重。当权重值超出规定的范围时，就广播节点过载 LRRERR 报文，邻居节点 b 收到 LRRERR 报文后，节点 b 则继续按照(1)中的方式，按节点 a 不可达时的情况进行路由维护。

3 仿真与分析

利用 NS2(v2.34)对 AODV-LS 进行仿真，分别对数据包平均端到端延迟、数据包转发率、标准化路由负载等性能进行分析。MAC 层采用 IEEE802.11 标准规定的分布式协调功能，利用 CSMA/CA 作为传输机制，网络带宽为 2 Mb/s，发送数据包的大小为 512 B。在仿真过程中，50 个无线路由节点在一个 800 m×800 m 的矩形区域内随机移动，移动速度分布在 0~4 m/s 的范围内。数据源节点的个数为 20，发包率为每秒分别发送 1、2、4、7、10 个包来产生不同的负载。分别对 AODV-LS 协议和 AODV 协议进行模拟仿真，并对仿真结果进行分析，得到两个协议在不同停留时间下的数据包转发率、数据包平均端到端延迟和标准化路由负载。

图 2 显示了网络中节点发包率变化时，AODV、AODV-LS 数据包转发率的曲线。结果表明在网络负载很小时，AODV、AODV-LS 都有较高的、相近的数据转发率。而当网络负载增加时，AODV-LS 的性能提高十分明显。这是因为 AODV-LS 尽量避开负载较重的节点，选择负载较轻的路径传输数据，间接地提高了整个网络的

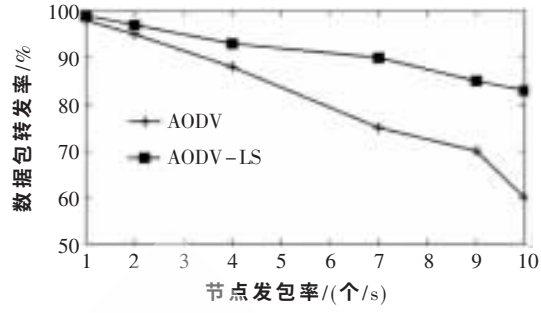

图 2 数据包转发率

吞吐量。

图 3 显示分组平均端到端时延的变化曲线，节点发包率较小时，AODV-LS 与 AODV 平均端到端延迟相近，但随着节点发包率的增加，AODV-LS 延迟明显小于 AODV。当网络负载增大时，AODV-LS 试图找到一条链路状况最好的路径，绕过堵塞的节点，减小了拥塞等待时间。

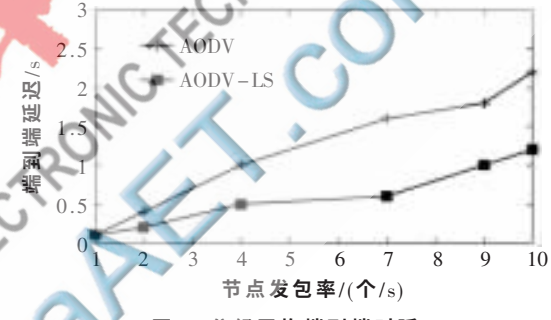

图 3 分组平均端到端时延

图 4 显示，AODV-LS 在标准化路由负载方面略优于 AODV。这主要由于不断转发 RREQ 在 AODV 的路由分组中占用了大量的网络开销，而在 AODV-LS 中过载的中间节点直接丢弃 RREQ，大大减少了网络路由开销。同时，由于 AODV-LS 的分组转发率比 AODV 高，相同情况下目的节点接收到更多的分组，所以标准化路由负载较小。

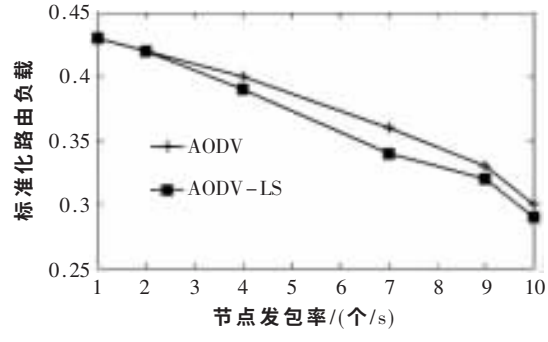

图 4 标准化路由负载

本文针对 Mesh 网络自身的特点，对 AODV 算法做了改进，提出了新的 AODV-LS 路由协议，该协议采用节点权重值作为路由建立标准。实验结果表明，由于采用了权重值作为路由判据，整个网络的吞吐性能、包转发

率、端到端延时等方面都要优于 AODV，体现了良好的性能。

参考文献

[1] AKYILDIZI F，WANG X D，WANG W L.Wireless Mesh networks：Asurvey[J].Computer Networks，2005，47(4)：445-487.

[2] WAHARTE S，BOUTABA R，IRAQI Y，et al.Routing protocols in wireless mesh networks：challenges and design considerations[J].Springer Multimed.Tool Appl.2006，31(3)：285-303.

[3] 符云清，王松健，吴中福.基于链路状态加权的无线 Mesh 网络路由协议[J].计算机研究与发展，2009，46(1)：137-143.

[4] JUN J，SICHITIU M L.MRP：wireless mesh networks routing protocol[J].Comput.Commun，2008，31(7)：1413-1435.

[5] CHEN L，HEINZELMAN W B.QoS-aware routing based on bandwidth estimation for mobile Ad Hoc networks[J].IEEE Journal on Areas in Communications，2005，23(3)：561-572.

[6] PERKINS C E，ROYER E M.Ad-Hoc on-demand distance vector routing(AODV)[C].RFC 3561，2003.

[7] 柯志亨，程荣祥，邓德隽.NS2 仿真实验——多媒体和无线网络通信[M].北京：电子工业出版社，2009.

(收稿日期：2012-10-22)

作者简介：

刘邵华，男，1985 年生，硕士研究生，主要研究方向：无线 Mesh 网络。

黄廷磊，男，1971 年生，博士后，教授，主要研究方向：智能计算、传感器网络、无线 Mesh 网络、云计算。

夏锋，男，1986 年生，硕士研究生，主要研究方向：智能信息处理与嵌入式应用。