

一种位置信息辅助的 Ad Hoc 网络按需距离矢量路由协议

吴克军¹, 于 全¹, 田艳霞²

(1. 中国电子设备系统工程公司研究所, 北京 100141; 2. 总参通信部军事代表局, 北京 100016)

摘要: 针对 Ad Hoc 网络中按需距离矢量路由协议路由开销大, 以及位置路由中位置信息在获取方式上存在的缺点, 提出一种位置信息辅助的按需距离矢量路由协议(LAODV), 协议结合 AODV 以按需的方式获取网络节点的位置信息, 并以泛洪、位置信息修正的贪婪转发和局部受限泛洪相结合方式进行路由发现, 同时提出了路由维护策略和局部多径备份路由策略. 仿真结果表明, LAODV 能够获得较好的分组递交率、时延和路由开销性能.

关键词: ad hoc 网络; 路由; 贪婪转发; 多径

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 04-0983-06

A Novel Location-aided Ad Hoc On-Demand Vector Routing Protocol

WU Ke-jun¹, YU Quan¹, TIAN Yan-xia²

(1. Institute of China Electronics System Engineering Company, Beijing 100141, China

2. Military Representative Bureau of Communication Department of General Staff Headquarters, Beijing 100016, China)

Abstract: To decrease overhead of on-demand vector routing protocol and overcome shortcomings of location-aided routings about getting location information, a novel location-aided ad hoc on-demand vector routing protocol (LAODV) is proposed. In LAODV, location information is got on demand. During route discovery, flooding, location correct-based greedy forward strategy (LCGF) and limited flooding in expected zone are combined to improve the performance. In addition, a novel method for routing maintenance and a strategy of local multi-path backup routing are illustrated. Simulation results show that, LAODV can achieve fine performance in packet delivery ratio, delay, and routing overhead.

Key words: ad hoc networks; routing; greedy forward; multi-path

1 引言

近年来, Ad Hoc 网络的路由协议研究取得了很大进展^[1~9], 大部分路由协议主要采取主动维护路由表或按需利用泛洪方式发现路由, 由于 Ad Hoc 网络信道资源受限和动态拓扑, 使得降低路由发现和维持开销成为重要研究内容. 相比之下, 按需路由比主动式路由更适应动态拓扑环境下的应用. GPS、GLONASS、北斗等定位系统的普及, 使得网络中各个节点获得自己的位置信息变得可行, 基于位置信息的路由协议由于具有很强的鲁棒性近来引起了关注^[10,11], 但当前的位置路由大多假设节点已知目的节点的位置信息, 且位置信息获取通过位置服务器分发各节点位置信息或周期性广播节点位置信息^[10~13], 消耗了较多的网络资源, 且网络的动态拓扑也降低了位置信息的时效性.

以按需方式获取节点位置信息既能够保证位置信息的时效性, 又能有效节省网络资源开销. AODV 路由

算法是性能最好的按需路由算法之一^[14,15], 但由于其路由发现过程只能形成一条从源至目的节点的单径路由, 在分组转发过程中, 一旦路径断裂, 便需重新进行路由发现. 由于 Ad Hoc 网络的高动态拓扑, 必然导致要进行频繁的路由发现, 从而增加路由开销, 消耗过多网络资源. 因此, 如何降低 AODV 的路由开销显得非常必要. 本章正是基于以上考虑, 结合按需路由和位置路由的特点, 提出了一种位置信息辅助的按需距离矢量路由协议 LAODV.

2 网络模型与假设

Ad Hoc 网络拓扑一般可以表示为无向图 $G(V, E)$, 其中, V 表示网络拓扑 G 中的移动节点集, E 表示节点间可双向通信的链路集; 每个节点的有效覆盖范围有限, 当其它节点位于该范围之内时, 就认为这对节点之间存在可用的通信链路, 由于 Ad Hoc 网络拓扑结构是动态变化的, 所以 G 中 E 是动态变化的. 此外, 对网络

作如下假设:

- 节点配置相同的全向天线,有效传输距离相同,节点间链路为双向链路;

- 通过 GPS、GLONASS、北斗或其它定位技术,节点可实时获知自己的二维位置坐标,通过 MAC 层 HELLO 分组交换,可获知其邻节点位置信息. $\forall v \in V$,时刻 t_0 ,坐标为 $(x_{t_0}(v), y_{t_0}(v))$,时刻 t_1 ,坐标为 $(x_{t_1}(v), y_{t_1}(v))$,在时间 $t_1 - t_0$ 内节点 v 的近似速度为:

$$v(v) = \frac{\sqrt{(x_{t_1}(v) - x_{t_0}(v))^2 + (y_{t_1}(v) - y_{t_0}(v))^2}}{t_1 - t_0}$$

并以速度 $v(v)$ 作为节点下一次通告其位置信息前的近似速度.

3 LAODV 协议描述

LAODV 协议是在传统 AODV 中有效地引入位置信息进行混合路由发现、维护等操作,降低路由发现开销,提高协议可扩展性.

3.1 位置信息获取与传播

LAODV 的位置信息获取是反应式、按需的,主要通过各种控制分组和数据分组学习获得,以这种方式获取的位置信息比通过节点或位置服务器周期性广播获取的位置信息具有更强的时效性.因为后者获取的位置信息时效性与广播间隔周期相关,周期越长,时效性越差,且存储的位置信息随着节点移动性加快,时效性越差.而按需的位置信息获取以及通过学习方式获得的其它节点位置信息,其时效性较强,这对于 AODV 路由断裂后,采用基于位置信息的路由发现是非常有利的.

3.2 路由发现策略

3.2.1 路由发现基本过程

根据目的节点位置信息是否可用,路由发现过程主要有两种方式:一是目的节点位置信息不可用时以传统 AODV 方式的路由发现;二是目的节点位置信息可用时以贪婪转发和受限泛洪相结合的混合路由发现.具体过程为:当源节点需要发现一条到达目的节点的路由时,首先检查其本地路由表,如果有可用路由,则直接使用;如果路由表中没有可用路由,则在本地位置信息列表中查询目的节点的位置信息,如果位置信息列表中有目的节点的位置信息,则采用 3.2.2 节提出的 LCGF 转发策略进行路由发现;如果没有目的节点的位置信息,则采用 AODV 的泛洪方式广播其路由请求分组 RREQ 来查找路由.

路由响应过程与传统 AODV 的路由响应机制相同.

3.2.2 位置信息修正的贪婪转发策略 LCGF

贪婪转发策略是指在分组转发时,中间节点将分

组转发到位于目的方向上的一个邻节点,通常情况下,分组能够被有效地转发至目的节点.但有时贪婪转发在源和目的节点间存在路由的情况下也找不到路由.

文献[16]中提出转发邻节点选择应采用最大前程规则,所谓前程就是从任一节点 S 到目的节点 D 的直线上,节点 S 到邻节点所经过的距离在该直线上的投影长度,如图 1 所示.

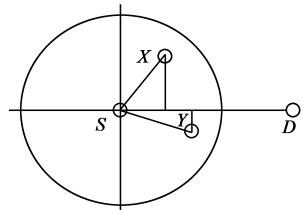


图1 基于前程的贪婪转发

通常情况下,一个节点在其与目的节点方向上没有邻节点的概率是很低的.由文献[17]可知,网络达到最佳性能时的节点密度是邻居节点数目约为 6,如图 1 所示,节点 S 在其与目的节点 D 方向没有邻节点的概率为 $(\frac{1}{2})^6 \approx 0.016$.也就是说,在一个均匀分布的 Ad Hoc 网络中,基于位置信息的贪婪转发成功率是很高的.出现贪婪转发失败通常在网络比较稀疏和拓扑高度动态情况下会出现,此时一般会通过泛洪得到一条最短路径.所以本文对基于位置信息的路由请求采用贪婪转发与局部受限泛洪相结合的混合转发策略.

当源节点利用目的节点位置信息进行基于位置的路由发现时,采用这里提出的 LCGF 策略.

LCGF 策略遵循如下几个原则:

- 目的节点位置信息修正

在传统基于位置的贪婪转发中,源节点将 t_0 时刻更新的目的节点 d 的位置信息包含于 RREQ 分组中,中间参与转发的节点都以该时刻目的节点位置信息作为选择下一跳转发节点的参考方向.而在本文的位置信息获取可以通过不断从其它分组中学习得到,具有更强的时效性.如图 2 所示,假设源节点 S 位置信息列表中存在 t_0 时刻更新的目的节点有效位置信息,如果在 $t_1 > t_0$ 时刻节点 S' 需要与节点 D 通信,则节点 B 会从节点 D 发至 S' 的 RREP 分组中获得节点 D 在 $t_2 > t_1$ 时刻的更新位置信息.所以当节点 S 在 t_3 时刻需要与节点 D 通信,且路由表中无可用路由和 $t_3 - UT(D) < T$, $UT(D)$ 表示节点存储的关于节点 D 的位置信息更新时间, T 表示位置信息有效生存时间.则 S 将节点 D 在 t_0 时刻更新的位置信息插入 RREQ 分组中.当 S 发送的 RREQ 分组以贪婪方式转发至节点 B 时,显然,节点 B 存储的节点 D 的位置信息比 RREQ 中的时效性强,则利用更新的位置信息替换 RREQ 中的相应选项.

在以贪婪方式转发分组的过程中,如果中间转发节点存储的关于目的节点的位置信息比来自源节点的 RREQ 分组中包含的目的节点位置信息时效性更强时,

则在转发该 RREQ 分组前,利用本地关于目的节点的位置信息将 RREQ 中的目的节点位置信息替代,这一过程称为目的节点位置信息修正。

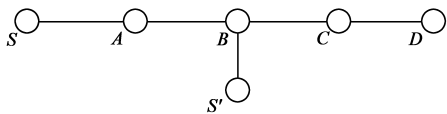


图2 位置信息学习

- 采用最大前程的贪婪转发策略

当源节点具有目的节点的位置信息时,则利用贪婪转发策略进行路由请求.在一个带宽受限的网络中,路径越长,则端到端时延越大,消耗的网络带宽也相应较多.因此,最小跳数的路由发现成为大多数路由协议进行路由发现时的度量准则.本文的贪婪转发策略也以最短路径为目标,在贪婪转发过程中,选择具有最大前程的邻节点作为下一跳转发节点。

- 局部受限泛洪的贪婪转发失败恢复策略

所谓局部受限泛洪就是在贪婪转发失败时,由转发失败的节点确定的局部区域进行泛洪.局部受限泛洪区域是一个矩形区域,如图 3 所示,其中 $R = v(t_1 - t_0)$,其中 v 、 t_0 和 t_1 分别为目的节点平均移动速度、获知目的节点位置信息时的时刻以及发起路由请求时的时刻.受限泛洪基本过程为:

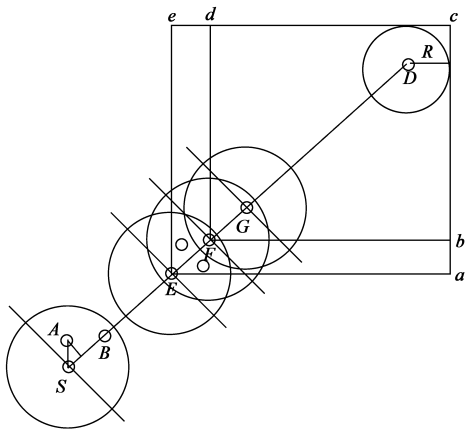


图3 混合转发策略

①源节点 S 进行贪婪转发,设贪婪转发过程中依次选择的下一跳节点为 B, \dots, E, F, G ;

②当转发至 G 时, G 在其与目的节点方向没有邻节点,则发送一个贪婪转发失败分组 G_FAIL 至上一跳节点 F , G_FAIL 分组中包括修正后的目的节点 D 的位置信息;

③节点 F 收到 G_FAIL 分组后,对目的节点位置信息进行修正,然后判决区域 $Fbcd$ 与 F 的传输范围重叠区域内是否有除 G 以外的节点,如果有其它邻节点,则节点在 $Fbcd$ 区域内以泛洪方式向目的节点发起路由请求,路由请求的源节点 S 替换为本节点 F ;

④如果重叠区域内没有邻节点,则 F 向 E 发送一个错误分组 G_FAIL ;节点 E 收到 G_FAIL 分组后,与 F 的处理相同;

⑤如果源节点 S 收到 G_FAIL 分组,则本次贪婪转发失败, S 在全网泛洪路由请求;

⑥至此,路径 B, \dots, E, F 中的某个节点能够确定一个受限的泛洪区域,并等待节点 D 的路由响应分组 RREP,目的节点只对最先到达的 RREQ 进行响应;收到目的节点 RREP 后,向源节点 S 发送路由响应 RREP。

根据以上三个准则,利用位置信息进行路由发现的 LCGF 策略的完整过程为:

①当源节点 S 需要利用目的节点位置信息进行路由发现时,将目的节点 D 的位置信息插入 RREQ 分组,采用最大前程的贪婪转发策略在其邻居节点集中选择一个距离目的节点最近的邻节点 X 作为下一跳转发节点,发送 RREQ 分组至节点 X ;

②一个中间节点收到来自上一跳节点的 RREQ 分组且需要转发时,如果本节点是目的节点,或者本节点路由表中存在一条到达目的节点的有效路由,且目的节点序列号满足 AODV 要求,则向上一跳节点发送 RREP 分组,路由请求结束;如果无有效路由存在,则转入③;

③利用目的节点位置信息修正机制进行位置信息修正,并检查其邻居节点列表,如果目的节点在其邻居节点集中,则发送 RREQ 至目的节点,路由请求结束;否则,如果在到目的节点的方向上有邻节点,则转入④;如果在到目的节点的方向上没有邻节点,则转入⑤;

④选择距离目的节点最近的邻节点 Y 作为下一跳转发节点,发送 RREQ 分组至 Y ,转入②重复;

⑤采用局部受限泛洪的贪婪转发失败恢复策略转发 RREQ 分组。

对于路由请求的响应过程,与传统的 AODV 响应机制相同,沿着路由请求的逆向路径发送 RREP 分组至源节点。

3.3 路由维护策略

在进行路由协议设计时考虑路由维护策略是必要的,可以有效提高数据分组的转发效率.路由修复有两种情况:当节点路由表中存贮的路由当前正在使用,这类路由的断裂对网络的影响较大,需要及时修复;另一些路由当前可能未被使用,当其断裂时,在一定时间内不对网络产生影响,不需要实时修复.在 LAODV 中,我们将路由表中的路由分为两类:活动路由(active,正在被使用的路由);后活动路由(postactive,一个路由被使用过,但现在没有被使用),对这两种路由分别进行不同策略的维护,从而降低路由开销.路由维护策略分为两部分:

(1) 活动路由维护

① 当一个活动路由的下一跳发生方向性链路中断时,则节点发送一个 Hello 消息至该邻节点,并设置定时器 T_1 ;

② 在 T_1 内如果收到该邻节点的响应分组,则修复该链路;

③ 如果在 T_1 超时后,没有收到响应分组,且其至目的节点的距离小于 $\text{MAX_REPAIR_TTL}^{[1]}$ 时,则转入④,如果距离大于 MAX_REPAIR_TTL ,则转入⑤;

④ 如果本节点存有目的节点位置信息,则利用 LCGF 算法向目的节点发送 RREQ,如果本地没有目的节点可用位置信息,则本节点向目的节点广播 RREQ;

⑤ 向所有前趋节点(precursor)广播一个路由错误分组 RRER.

(2) 后活动路由维护

由于在路由表中的后活动路由长时间不被使用,对其进行实时修复没有必要,而且消耗网络资源,所以采用被动的修复方式.所谓被动修复是指当本地路由表中一条后活动路由的下一跳链路断裂时,以链路层 Hello 消息的周期 T_{MAC} 作为超时间隔,如果在 T_{MAC} 内收到任何来自于该连链路的对端节点的分组(Hello, RTS, CTS, DATA 等),则自动修复该方向性链路,如果在 T_{MAC} 超时后没有收到来自该节点的任何分组,则向所有前驱节点发送 RERR.

3.4 局部多径备份路由策略

为提高在高动态网络环境下,路由频繁断裂时的路由性能,提出了局部多径备份路由策略.

定义:节点 A 至节点 B 之间的一条主路径 P ,主路径节点集合 $N(P)$, $N(P)$ 中各节点邻居集的并集为 $N(all) = \bigcup_{v \in N(P)} N(v)$,其中 $N(v)$ 为节点 v 不包括 P 中节点的邻居节点集.如果在 A 和 B 之间除了路径 P 以外,还存在由 $N(P) \cup N(all)$ 中节点形成的路径,则称 A 和 B 之间存在局部备份路由.

局部多径备份路由策略设计目标是在尽量降低路由发现开销的情况下,尽可能满足主路径上任何两个节点间存在局部备份路由,使得在分组转发过程中,当转发节点发现与下一跳节点链路断裂时,能够选择备份路径进行转发.该策略仅仅在路由响应过程中形成,对路由由开销的影响很小.主要过程如下:

① 每个节点维护一个备份路由表(BRT-Backup Route Table),BRT 中到达同一目的节点的路由记录可能有多条,主路径中节点的邻节点发送备份路由响应的分组为 B_REPP;

② 源节点 S 和目的节点 D 的主路径 P 中某一个节点 u 向上一跳节点发送 RREP, $\forall w \in N(u)$ 的节点监听

到该 RREP 时:如果 BRT 中有到 D 的路由,则节点 w 向节点 u 发送备份路由响应分组 B_REPP,其中指示该路由为备份路由;如果 BRT 中没有到 D 的路由,则在 BRT 中记录 RREP 中到达 D 的路由; ($\forall v \in P, \forall x \in N(all)$),节点 v 收到节点 x 发送的 B_REPP 分组时,节点 v 在其 BRT 中记录该备份路由; ($\forall x, y \in N(all)$),节点 y 收到节点 x 的 B_REPP 分组时:如果节点 y 的 BRT 中有到目的节点 D 的备份路由,且到目的节点的跳数小于该分组中包含的路由跳数,则 y 向 x 发送 B_REPP 分组;如果节点 y 的 BRT 中没有到目的节点 D 的路由,则丢弃该 R_REPP 分组.

为了使得局部备份路由能够有效地满足主路径链路断裂时的应用,局部备份路由应满足如下约束条件:

约束 1: BRT 中备份路由不用于路由请求 RREQ 的响应;

由于 BRT 中可能存在到达同一目的节点的多个跳数不同的备份路由,且通常不是最短路径,如果利用局部备份路由进行路由响应会导致 LAODV 非最短路径经常发生.

约束 2: 对局部备份路由不进行本地修复;

为了降低多路由由修复开销,当局部备份路由由发生断裂时,不进行本地修复.

约束 3: 当主路径中的一个转发节点利用局部备份路由进行数据分组转发时,该转发节点要将数据分组头部的剩余路由跳数选项改为剩余跳数的两倍,以保证在该转发节点至目的节点之间存在任意一条备份路径情况下数据分组都能够成功转发.

因为主路径上某个节点的局部备份路由的最长跳数是从该节点至目的节点跳数的两倍,如图 4 所示,主路径 $P = \{S, A, B, C, E, D\}$,节点 A 至目的节点 D 的距离是 4 跳,节点 A 在转发数据分组时,最坏情况下, A 至 D 之间的备份路径是 $\{A, G, B, H, C, I, E, J, D\}$,距离为 8 跳.所以,当采用局部备份路由进行分组转发时,数据分组的跳数应该设为原跳数的两倍,以保证在最坏情况下分组的成功递交.

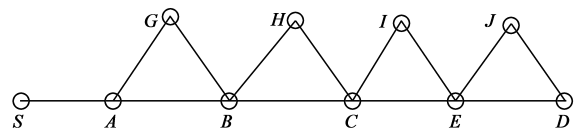


图4 最长跳数多径备份路由

4 仿真分析

4.1 仿真配置

采用 OPNET 仿真软件进行对 AODV、DREAM^[10] 和 LAODV 的性能进行仿真分析. MAC 协议模型采用 IEEE 802.11 DCF^[18]. 仿真中, 50 个节点随机分布在 $20\text{km} \times$

10km 的区域内,节点在全向天线下的有效通信距离为 3km,信道速率为 2Mb/s.节点的发送缓冲区大小为 64,分组的发送最大等待时间为 30s,超时后分组被丢弃.业务产生模式分别为 20 和 40 对 CBR 业务,速率为每秒 6 个分组,数据分组大小为 512 字节.移动模型采用路由协议仿真时普遍采用的 RWP 模型^[19].仿真时间为 1000s.

仿真中统计的分组递交率表示业务源节点发送的数据分组成功到达目的节点的比例;分组平均时延表示目的节点接收数据分组的时间与业务源节点发送数据分组的时间之差,仿真中忽略传播时延和处理时延;归一化路由开销表示成功递交一个数据分组所发送的路由协议分组数,每一跳转发的路由分组数都计算在这个开销之内.

4.2 仿真结果

图 5 给出了业务源数为 20 和 40 时的分组递交率性能比较.可以看出,当业务源数为 20 时,AODV、DREAM 和 LAODV 协议在静止或低移动性条件下,路由开销主要区别在于路由初次建立时,而这一开销对于整个仿真过程的影响可以忽略,所以三者的分组递交率几乎相同.但随着移动性的增加,LAODV 协议的分组递交率下降趋势比 AODV 和 DREAM 都缓慢,主要因为位置信息学习、位置信息修正的贪婪转发策略、多径备份路由策略以及本地路由维护等机制使得 LAODV 能够更好地适应网络拓扑的动态变化.随着业务源数量的增加,导致网络负载加重,使得 AODV、DREAM 和 LAODV 的性能都明显下降,但随着移动性的增加,DREAM、AODV 比 LAODV 的性能下降更为明显.

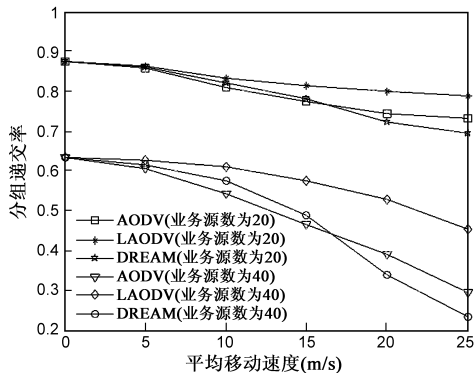


图5 分组递交率性能

图 6 给出了业务源数为 20 和 40 时的分组平均时延性能比较.当网络处于静止状态下,LAODV 的分组平均时延性能与 AODV 和 DREAM 相近,但随着移动性的增加,LAODV 的时延性能优势得以体现,主要是由于位置信息修正的贪婪转发策略、多径备份路由策略等机制大大降低了路由开销,节省了网络资源,进而提高了分组时延性能.随着业务源数的增加,三种协议的时

延性能明显下降,但 LAODV 仍能更好地适应节点的移动性增加.

图 7 给出了业务源数为 20 和 40 情况下的归一化路由开销比较.在高移动性条件下,高路由开销是影响 AODV 和 DREAM 协议性能的主要因素,因此在 LAODV 中,通过结合位置信息、贪婪转发、局部受限泛洪、多径备份路由、位置信息学习和目的节点位置信息修正等机制,大大降低了路由协议的开销,从而使得 LAODV 协议的性能得到提升.从图中可以看出,随着移动性的增加,DREAM 和 AODV 的路由开销急剧增加,而 LAODV 的路由开销增加较为缓慢.

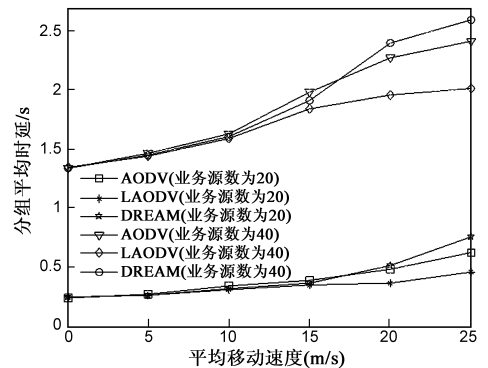


图6 分组平均时延性能

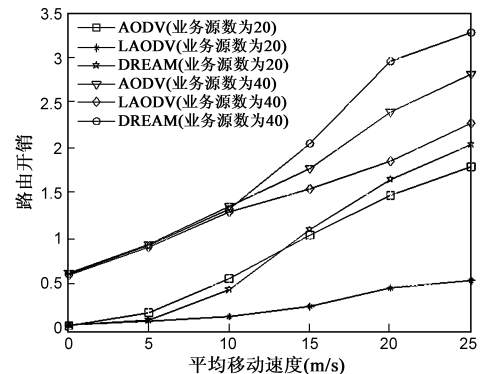


图7 归一化路由开销性能

5 总结

本文结合位置信息与按需距离矢量机制进行路由设计,提出了一种位置信息辅助的按需距离矢量路由协议(LAODV),协议以按需的方式获取网络节点的位置信息,并结合泛洪、贪婪转发和局部受限泛洪方式进行路由发现,对路由进行区分维护,同时提出了 LAODV 协议的多径备份路由策略,以提高路由协议性能.仿真结果表明,LAODV 能够有效适应 Ad Hoc 网络的动态拓扑,具有较好的路由性能.

参考文献:

[1] C Perkins, E Belding - Royer, S Das. Ad hoc On-Demand Dis-

- tance Vector (AODV) Routing[S]. IETF RFC3561, 2003.
- [2] David B Johnson, David A Maltz. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR) [S]. <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-manet-dsr-10.txt>, July, 2004.
- [3] Mario Gerla, Xiaoyan Hong. Fisheye State Routing Protocol (FSR) for Ad Hoc Networks[S]. <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-manet-fsr-03.txt>, December, 2002.
- [4] T Clausen, P Jacquet. Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)[S]. IETF RFC3626, 2003.
- [5] Zygmunt J Haas, Marc R Pearlman, Prince Samar. The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks[S]. <http://tools.ietf.org/id/draft-ietf-manet-zone-zrp-04.txt>, July, 2002.
- [6] Mario Gerla, Xiaoyan Hong, Li Ma. Landmark Routing Protocol (LANMAR) for Large Scale Ad Hoc Networks[S]. <http://www.ietf.org/proceedings/55/I-D/draft-ietf-manet-lanmar-04.txt>, June, 2002.
- [7] 陈跃泉, 郭晓峰等. AMR: 一个基于网络最大流的 Ad-Hoc 多路径路由算法[J]. 电子学报, 2004, 32(8): 1297 - 1301. Chen Yue Quan, Guo Xiao Feng etc. AMR: a multipath routing algorithm based on maximum flow in ad-hoc networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(8): 1297 - 1301. (in Chinese)
- [8] 杨盘隆, 田畅. Ad Hoc 网络先应式路由维护机制的优化模型研究[J]. 电子学报, 2006, 34(1): 114 - 117. Yang Pan Long, Tian Chang. Maintenance modeling and optimization on proactive routing protocol in mobile ad hoc network [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(1): 114 - 117 (in Chinese).
- [9] 李 ■, 刘军. 基于 AODV 协议的自组网络安全机制的研究 [J]. 电子学报, 2006, 34(2): 272 - 276. Li Zhe, Liu Jun. The research on security mechanism based on aodv routing protocol in mobile ad hoc network[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(2): 272 - 276. (in Chinese)
- [10] S Basagni, I Chlamtac, V R Syrotiuk et al. A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM)[A]. Proc. of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)[C]. Dallas, TX, US, Oct 1998. 76 - 84.
- [11] Y Ko, N H Vaidya. Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks[A]. Proc. of ACM/IEEE MOBICOM [C]. Dallas, Texas, US, Oct 1998. 66 - 75.
- [12] J Li, J Jannotti, S J Douglas. A Scalable Location Service for Geographic Ad Hoc Routing[A]. Proc. of ACM MOBICOM [C]. Boston, Massachusetts, Aug 2000. 120 - 30.
- [13] H Frey. Scalable Geographic Routing Algorithms for Wireless Ad Hoc Networks, IEEE Network[J]. 2004, 18(4): 18 - 22.
- [14] J Broch, D A Maltz, D B Johnson, et al. A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols[A]. Proc. of MOBICOM[C]. Dallas, TX, USA, Oct 1998. 85 - 97.
- [15] S R Das, C E Perkins, E M Royer. Performance Comparison of Two On-demand Routing Protocols for Ad Hoc Networks [A]. Proc. of INFOCOM[C]. Tel Aviv, Israel, Mar. 2000. 3 - 12.
- [16] T. Hideaki, K. Leonard, Optimal Transmission Ranges for Randomly Distributed Packet Radio Terminals [J]. IEEE Transactions on Communications, Mar. 1984, 32(3): 246 - 257.
- [17] E M Royer, P M Melliar-Smith, L M Moser. An Analysis of the Optimum Node Density for Ad Hoc Networks[A]. Proc. of IEEE ICC[C]. Helsinki, Finland, Jan 2001. 857 - 861.
- [18] V Hayes, Stuart J Kerry, etc. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Specifications[S]. IEEE std. 802.11, IEEE, 1999.
- [19] T Camp, J Boleng, V Davies. A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research[J]. Journal of Wireless Communications & Mobile Computing (WCMC), 2002, 2(5): 483 - 502.

作者简介:



吴克军 男, 1976 年 12 月出生于安徽肥西县, 博士, 中国电子设备系统工程公司研究所工程师, 在通信学报、北京邮电大学学报等国内外学术期刊发表论文 10 余篇, 主要研究方向为网络协议设计与优化, 下一代互联网等。

E-mail: wkj_ice@163.com



于全 男, 1965 年 9 月出生于江西省九江市, 博士, 中国电子设备系统工程公司研究所总工程师、中国工程院院士, 在国内外学术期刊发表论文近百篇, 获得国家科学技术进步一等奖 1 项, 二等奖多项, 主要研究方向为无线网络体系结构, 协议优化、认知无线电等。



田艳霞 女, 1978 年 7 月出生于山东省乳山市, 硕士, 总参通信部军事代表室工程师, 主要无线调制解调、编码等。