

基于距离预测的移动自组网路由发现算法

李世宝, 洪利

(中国石油大学(华东) 计算机与通信工程学院, 山东 东营 257061)

摘要: 提出了一种基于距离预测的扩展环路由发现方法, 该方法通过提取历史记录中的长程信息和瞬时信息, 通过加权修正之后, 预测到目标节点的距离跳数, 在此基础上, 计算扩展环搜索的 3 个参数: 起始 TTL 值、广播阈值和扩展步长, 减少了路由发现的盲目性。仿真结果表明, 与洪泛和传统扩展环搜索相比, 该方法节省了路由开销, 降低了分组的端到端时延, 提高了网络性能。

关键词: 移动自组织网络; AODV 路由协议; 扩展环搜索; 路由开销; 距离预测

中图分类号: TN393

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2010)11-0180-08

Algorithm of route discovery based on distance prediction in MANET

LI Shi-bao, HONG Li

(College of Computer and Communication Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: A scheme of route discovery was provided based on the distance prediction to destination. Hops table was established to store historical records. The long-range information and instantaneous information were extracted from historical records. The distance to the destination was calculated by weight sum of both long-range information and instantaneous information. By aid of the distance predicted, the optimized parameters of ERS including the initial TTL value, broadcast threshold and step size of ERS were calculated. Simulation results showed that the new scheme significantly improved performance of the protocol under many kinds of simulation scenarios. The routing overhead was saved and the end-to-end delay of the packet was reduced. At the same time, the new scheme was also easy to implement.

Key words: mobile ad hoc network; AODV protocol; expanding ring search; routing overhead; distance prediction

1 引言

移动自组织网络 (MANET, mobile ad hoc network) 是由一系列带有无线收发装置的动态节点临时形成的一种多跳自治系统^[1], 网络中每个节点均具备主机和路由器 2 种功能, 具有很高的可靠性和灵活性, 可广泛应用于紧急搜救、环境监测、临时会议等场合, 引起了军界、工业界和学术界的高度关注。

路由协议是 MANET 研究的重点, 主要有表驱动路由和按需路由 2 类^[2,3], 按需路由协议不必维护到达所有节点的路由, 有效地节省了网络资源, 能

够较好地解决节点移动带来的动态拓扑问题, 得到了广泛应用。其中 AODV 是按需路由协议中比较经典的一种^[4]。

按需路由协议包括路由发现和路由维护 2 个阶段。传统的路由发现方法采用洪泛策略, 由源节点向其邻节点广播路由查询请求分组, 并在全网络内传播, 毫无疑问这将会带来巨大的网络开销, 导致网络风暴问题^[5]。针对这一问题, 扩展环搜索法 (ERS, expanding ring search) 被提出, 其基本思想是: 当 ad hoc 网络需要进行路由发现的时候, 并不在全网络内进行广播搜索, 而是逐步扩大搜索的范围直至搜索到目标。每次搜索时, 在网络层分组的报头

部分设计一个字段 TTL(第一环时的值称之为起始 TTL 值), 该值以跳数作为衡量单位, 表示分组可以被转发的次数, 收到该分组的节点每次将 TTL 值减 1, 减至 0 则停止转发。而源节点在广播 RREQ(路由查询请求分组)后等待回复, 如果在给定时间内没有收到回复的 RREP(路由回复) 分组, 就重发 RREQ, 每次重发时分组头中的 TTL 值递加一个步进值(这个值称之为扩展步长), 一直达到门限值(通常等于网络直径)为止。

当目标节点在邻节点或者几跳范围内的时候, 扩展环路由发现方法效果明显。但当目标节点距离源节点较远时, 源节点需要多次重复发送 RREQ, 反而加重了路由开销; 同时每一轮次源节点需要等待一段时间, 确认没有收到 RREP 才开始下一轮查询, 增加了时延。因此如何有效地降低路由开销, 优化协议性能成为亟待解决的问题。本文针对扩展环搜索算法的不足, 提出一种改进的路由发现方法(DP-ERS), 以降低路由开销和时延, 提高网络性能。

2 相关工作

很多研究者对 ERS 算法进行了改进。

一种改进方法是设定一个阈值 L (称之为广播阈值), 当 TTL 的值逐步增加到 L 时仍然不能找到目标节点则开始采用洪泛方法全网查找。这样, 当目标节点距离较远时, 可以避免多轮次的无谓搜索, 显然合适的 L 值是很关键的。文献[6]设计了一个理论模型, 用于计算最优 L 值, 但没有给出网络参数对于 L 值的具体影响。文献[7]提出了一种简单扩展环搜索算法, 路由发现过程采用两层扩展机制, TTL 设置为阈值 L , 找到目标节点则停止广播, 找不到则重新全网泛洪。

另外一类改进方法是优化扩展环搜索的起始 TTL 值, 使之指向目标节点最可能的位置, 从而减少未找到目标之前的环索次数。文献[8]通过数学分析和数值计算认为起始 TTL 值按照最坏情况预测(目标节点位置包含在起始 TTL 跳数之内)时, 效果最好, 前提是需要知道节点的移动模式, 显然这个条件在实际应用时很难满足。文献[9]认为在节点位置分布未知的情况下, 采用随机的方法选择 TTL 值可以取得较好效果。

当扩展搜索超过 2 环时, 每一环的跳数间隔(即: 步长)也是研究关注的问题。文献[10]认为扩展环搜索的环数太小则近似于洪泛, 太大则会增加多

轮次的无谓搜索, 数学分析和数值计算表明: 等于 3 是比较合适的。文献[11]提出了一种启发式环索算法, 采用主被动路由相结合的混合方式, 中间节点不是简单地将 TTL 减 1, 而是根据以往积累的经验以一定的概率和步长递减, 使搜索总是向着最可能的方向进行。文献[12]针对源节点处于网络中心或者随机位置的不同情况, 提出了一个理论框架, 通过构造一个搜索代价函数, 计算不同情况下的每一轮次的最优 TTL 值的集合, 前提是需要知道节点分布和网络区域大小。

文献[13]改变了每轮都由源节点重新发起搜索的机制, 改为在找到目标节点后由源节点发送一个追逐分组(chase packet), 通知中间节点停止搜索, 减少了路由开销, 但在复杂多变的 ad hoc 网络中追逐分组保证通知到所有的中间节点是比较困难的。文献[14]为每个中间节点建立周边两跳的拓扑, 在多轮搜索中就可以只让部分节点参与转发, 从而减少了路由开销。文献[15]针对节点密度很大的网络, 提出了一种 CERS 算法, 基本思想是将汇聚节点每一环的区域又分成了很多小的圆型区域, 可以将搜索限制在某个或者某几个小圆区域内, 从而减少路由分组的数量。

不难发现, 优化 ERS 的参数(起始 TTL 值、广播阈值、扩展步长)是提高网络性能的重要手段。但目前主要存在以下的问题:

- 1) 算法集中于讨论某一个参数, 缺少同时优化 3 个参数的方法;
- 2) 算法大多不能随网络规模的变化自适应调整;
- 3) 算法往往假定节点性质相似, 只针对网络整体确定参数值, 并没有针对节点自身的特点而分别为其量身定制参数。

本文提出一种基于距离预测的 ERS 参数优化方法, 在不借助于辅助设备的情况下通过提取历史记录中的距离信息自适应地优化 ERS 参数, 提高协议性能。

3 基于距离预测的扩展环搜索算法

无论是洪泛还是扩展环搜索, 路由开销大和时延延长的主要原因是不知道目标节点的位置, 所以只能拉网式地盲目搜索。如果能够估计到目标节点的距离(以跳数计算), 则可以优化 ERS 参数, 减少搜索的盲目性, 从而减少扩展搜索的环数, 较快地定

位到目标节点，减少路由开销和路由时延。目前较常见的定位方法是 GPS，但需要安装 GPS 定位装置，增加成本，不具有通用性。本文首先提出一种基于历史纪录的距离预测方法，然后在此基础上对 ERS 参数进行优化。

为了表述方便，相关参数、符号说明如表 1 所示。

参数名称	参数定义
起始 TTL 值	TTL
广播阈值	L
扩展环步长	SS
到目标节点的距离跳数	X
第 i 次记录的到目标节点的跳数	X_i
到某一个目标节点记录总数	N
到某一个目标节点历史距离的均值	M
到某一个目标节点历史距离的方差	D
到某一个目标节点最近一次的距离	X_L
到某一个目标节点最近一次记录时间	T_L
到目标节点的预测距离跳数	H

3.1 基于历史记录的距离预测方法

节点的距离预测与节点的移动性密切相关，很多情况下终端设备是使用者随身携带的，因此节点的移动实际上是使用者的移动，可以从使用者的移动入手研究节点的移动。文献[16]指出，每个人有自己相对固定的活动范围，并不会随机地走遍每个角落，其中最经常出现的地方往往只有有限的几个。另一方面，人们的行为往往带有群体性，在 ad hoc 网络中用组移动模型^[17]表达这个特点，组内节点距离较近，联系紧密，行为相似，组间节点一般距离较远，行为相关性小。如果每个组有自己的活动范围，那么组间距离就会维持在一个相对固定的范围之内。基于以上考虑，某一些节点之间会存在相对比较稳定的距离，这个距离可以通过历史记录的均值来预测。

文献[18,19]指出，人们的移动路程和停顿时间在统计上呈现幂率分布，说明移动距离以短途为主，因此当时间相隔较短的时候，节点并不会走很远。同时刚刚通信过的节点再次联系的几率很高。这样在相隔时间较短的情况下，最近一次的距离信息可以用来预测当前节点位置。

由此可见，预测到目标节点的距离可以利用 2

类信息，一类是最近一次信息(称之为瞬时信息)，另一类是代表以往所有记录的信息(称之为长程信息)。这 2 类信息从不同的侧面预示了目标节点当前位置，因此可以取这 2 类信息的加权和来计算目标节点当前位置，如式(1)所示，其中 $p \in [0,1]$ ， p 和 $(1-p)$ 分别代表这 2 类信息所占比例。

$$H = (1-p)M + pX_L \quad (1)$$

3.1.1 记录距离信息

AODV 路由协议中共有 2 类报文：数据信息 DATA 分组和控制信息分组，控制信息分组包括路由请求分组(RREQ)、路由回复分组(RREP)、链路错误分组(RRER)和链路维护分组(HELLO)。当需要到达目的节点的路由时，源节点会广播一个路由请求消息(RREQ)，各邻节点转发 RREQ，当 RREQ 到达目的节点时，一个路由应答 RREP 按 RREQ 经过的路径反向传送给源节点。链路上的节点会周期性发送 HELLO 用来监测链路是否断裂，链路一旦断裂 RRER 即发出。节点收到任何一种数据分组中都可以从中提取到源节点的距离信息和上一跳的距离信息。AODV 的工作原理决定了整个网络中会不断有各种分组传播，所以节点可以逐步了解到其他节点的距离信息。

为了记录所需的信息，每个节点维护一个距离跳数表，主要存储的信息项如表 2 所示。

参数名称	参数定义
最近一次的距离跳数	X_L
最近一次记录的时间	T_L
到某个节点的总记录数	N
到某个节点距离的均值	M
到某个节点距离的方差	D

3.1.2 长程信息与变异因子

长程信息描述了到某个节点的所有记录的距离变化情况，如果把每一次的信息都记录下来，将会使得 Hops Table 占用非常大的空间，因此是不现实的也是没有必要的，实际上只需要记录有用的统计信息即可。例如在 Hops Table 中记录了均值、方差。当新收到一个广播分组后，提取其中的跳数信息，设已经记录到同一目标节点的距离信息 N 次，则当前为第 $N+1$ 次，那么此时的均值为

$$M_{N+1} = (M_N N + X_{N+1}) / (N+1) \quad (2)$$

如果节点每次的位置偏离均值很大，均值预测的误差就会很大。反映在统计规律上可以用均方差来表示历次记录的数据的起伏程度，显然均值预测的准确性与数据起伏程度成反比关系，因此可以用均方差的倒数来衡量均值预测的准确性，称之为变异因子。均方差是方差的算术平方根，方差的计算公式如下：

$$\begin{aligned} D_{N+1} &= E(X^2) - M_{N+1}^2 \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{N+1} X_i^2}{N+1} - M_{N+1}^2 \\ &= \frac{\left(\sum_{i=1}^N X_i^2\right) + X_{N+1}^2}{N+1} - M_{N+1}^2 \\ &= \frac{N(D_N + M_N^2) + X_{N+1}^2}{N+1} - M_{N+1}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

3.1.3 瞬时信息与衰老因子

利用最近一次的信息预测目标节点距离，受时间因素影响较大。当前时间和最近一次的记录时间间隔较短时，通过最近一次的距离信息能够较好地预测到目标节点距离。反之当时间间隔较长时，这种预测的准确性会比较低，时间越远，准确性越小。

因此利用最近一次的距离信息预测节点距离的准确性，很大程度上决定于间隔时间的长短，引入一个参数来表达这种关系，称之为时间衰老因子 θ ，计算如式(4)所示。其中 T_{unit} 是一个时间单位(例如 20s)， T_{now} 为当前时间， T_L 为最近一次记录的时间， $\alpha \in (0,1]$ 开始可以设定为一个常数(例如 0.8)。这样 θ 可以表征节点当前距离与上一次记录的距离信息的关系强弱。

$$\theta = \alpha \frac{T_{\text{now}} - T_L}{T_{\text{unit}}} \quad (4)$$

3.1.4 目标节点距离计算

到目标节点的距离与历史记录均值和最近一次的记录密切相关，当时间相距很近时，上一次记录的信息参考价值大，当与目标节点的距离一直比较稳定时，距离均值能够较好地预测目标节点当前位置。可以取这 2 个值的加权和来预测目标节点距离。如式(5)所示。

$$H = \frac{1/\sqrt{D}}{\theta + 1/\sqrt{D}} M + \frac{\theta}{\theta + 1/\sqrt{D}} X_L \quad (5)$$

根据式(5)计算得到 H 后，按照 3.3 节介绍的方法进行路由发现，目标节点收到路由请求，会回复 RREP 数据分组建立正向路由，源节点收到 RREP 后自然就知道了到目标节点真实的距离跳数 H_{real} 。此时将 H_{real} 和 H 比较，如果不相等，则将 H_{real} 和 X_L 以及 M 比较，看其更加靠近哪个值，并适当调整其在式(5)中的比重。例如如果 H_{real} 更靠近 X_L 则调整 α 如式(6)所示。

$$\alpha_{\text{new}} = \alpha_{\text{old}} + (1 - \alpha_{\text{old}}) \times 10\% \quad (6)$$

3.2 ERS 参数确定

通过对目标节点距离的预测，可以优化起始 TTL 值、广播阈值和扩展步长等 3 个参数。

ERS 起始 TTL 值选择的好坏直接影响到扩展搜索的效率，起始 TTL 值设定的过低会导致在未找到目标节点之前，进行多轮的无谓搜索，造成路由开销增大，同时路由时延也会因为每环的等待而升高；起始 TTL 值设定的过高会导致在找到目标节点之后，路由广播分组仍然继续传播，增加路由开销，同时冗余的广播分组造成信道冲突，增大时延。因此起始 TTL 值最优的设定值应该等于到目标节点的距离，最好的结果是一次命中，但在不知道目标节点确切位置的情况下，这是很难办到的。提出的基于历史记录的距离预测方法，虽然不能精确定位，但是可以提供一个比较好的估计，因此可以把起始 TTL 值设定为式(7)的预测值 H 。

$$\text{起始 TTL 值} = H \quad (7)$$

广播阈值指的是停止扩展环搜索改为洪泛时的临界 TTL 值。如果广播阈值太低，则会造成大部分时候不能在 ERS 阶段找到目标节点，转而又去进行洪泛，使得 ERS 失去了意义；如果广播阈值太高则会出现目标节点较远时，多伦次的重复搜索带来很大开销。一个合适的阈值应该结合预测的节点距离和历史数据起伏情况综合考虑，这里将广播阈值设定如式(8)所示。

$$\text{广播阈值} = H + \sqrt{D} \quad (8)$$

扩展步长，指的是每一环增加的跳数，一个好的扩展步长应该是在较少的搜索轮次找到目标节点，避免无谓的重复搜索。步长的选择需要考虑多种因素。如果节点移动频繁，位置变化剧烈，此时步长应该大一些，反之小一些；如果目标节点距离较远，则从头重复一环搜索的代价就相对较高，因而步长应该大一些，反之小一些。基于这些考虑，

同时结合选定的起始 TTL 值和广播阈值,将扩展步长设定为均方差的一半。

$$\text{步长} = \sqrt{D}/2 \tag{9}$$

3.3 DP-ERS 算法设计与实现

AODV 路由协议中,任何一个节点都可能扮演 3 种角色: 1) 作为源节点发送数据分组; 2) 作为中间节点收到并处理广播分组; 3) 节点作为目的节点收到并处理广播分组。节点平时处于监听状态,当有数据分组到来时,首先解析数据分组并执行相关算法。具体算法如下:

DP_ERS 算法

- 1) 监听网络,接收数据分组,并解析之.提取距离信息,按照式(2)和式(3)更新 Hops Table
- 2) IF 报文来自于自身的应用层
- 3) IF 路由表中存在通往目标节点的有效路由
- 4) 直接发送数据
- 5) ELSE
- 6) IF Hops Table 中存在通往目标节点的记录
- 7) 按式(5)计算 H ; 按式(7)计算起始 TTL 值; 按式(8)计算广播阈值; 按式(9)计算扩展步长; 开始 ERS 搜索过程
- 8) ELSE IF Hops Table 中没有通往目标节点的记录
- 9) 以洪泛方式开始路由发现过程
- 10) ENDIF
- 11) ENDIF
- 12) ELSE IF 分组为其他节点传来的广播分组
- 13) IF 数据分组是 RREQ
- 14) IF 已经收到过
- 15) 抛弃该分组
- 16) ELSE IF 自己是目标节点
- 17) 建立反向路由;发 RREP 分组
- 18) ELSE
- 19) 建立反向路由;转发该分组
- 20) ENDIF
- 21) ENDIF
- 22) ELSE IF 是 RREP
- 23) IF 自己是源节点
- 24) 建立正向路由;按照式(6)修正

α 值; 发送 DATA 分组

- 25) ELSE
- 26) 建立正向路由转发数据分组或抛弃之
- 27) ENDIF
- 28) ELSE IF 报文是其他节点传来的 DATA 分组
- 29) 检查路由表转发数据
- 30) ENDIF

4 仿真分析

4.1 仿真环境

用仿真软件 NS2^[20]进行了模拟实验。网络中节点的移动性对仿真结果影响很大,为了不失一般性,首先利用目前应用比较广泛的 RWP 移动模型进行仿真,然后利用参考点群组移动模型构建了一个特殊的移动场景进行仿真分析。每个节点使用相同的无线收发设备,采用 IEEE 802.11 无线网络接口,单一增益的全向天线,无线传输半径为 250m,信道容量为 2Mbit/s。为了更加明显地衡量本文算法的性能,数据分组发送间隔设定为 10s,这样每一次数据发送的时候几乎都会启动路由发现过程,尽量避免了利用路由表中已有路由的机会。实验反复运行 30 次,每次运行 1 000s,所有仿真实验结果取平均值。表 3 给出了仿真环境参数。

表 3 仿真环境参数

参数名称	值	参数名称	值
路由协议	AODV	无线模型	Lucent Wave LAN
信道模型	Wireless Channel	移动速度	1,10,20,30m/s
传播模型	Log-distance path loss	节点数	50,100
MAC 协议	IEEE 802.11	连接数	10,20,30
移动模型	RWP	业务类型	CBR
接口队列	PriQueue	发送速率	1packet/10s
全向天线	Omni Antenna	移动场景	1 500m×1 000m
队列长度	50	仿真时间	1 000s

着重对比了 3 个协议: 标准的 AODV 协议 (FLOOD-AODV)、传统扩展环 AODV 协议(ERS-AODV)、基于距离预测的扩展环 AODV 协议(DP-ERS-AODV)。主要对以下 2 个度量标准进行分析。

1) 归一化路由开销: 每发送一个 DATA 数据分组需要的控制消息分组数,其中路由分组每一跳的传输均认为是一个新的控制消息分组,反映了网络的拥塞程度和路由效率。

2) 平均端到端时延:从源节点产生数据分组到目标节点收到该分组的时延。这个时延包括了路由发现过程的时延、队列等待时延和传输时延等。

4.2 RWP 移动模型下仿真与结果分析

从最大移动速度、网络节点数、仿真区域大小等 3 个方面, 比较 FLOOD-AODV、ERS-AODV、DP-ERS-AODV 的性能。

4.2.1 不同移动速度

50 个节点, 在 1 000m×1 000m 的区域内按照 RWP 的移动模型移动, 最大移动速度为: 1m/s、4m/s、7m/s、10m/s、13m/s、16m/s、19m/s、22m/s、25m/s。

由图 1 可以看出, 在不同的最大移动速度下, DP-ERS-AODV 的路由开销最小, 比 ERS-AODV 减低了 10%~20%, 比 FLOOD-AODV 降低了 30%~50%。说明通过距离预测优化 ERS 参数的算法有效地减小了路由发现过程的盲目性, 起到了较好的效果。随着速度的增加, 节点的移动性增强, 路由开销都有所增加, 尤其是 DP-ERS-AODV 变化较显著, 主要因为当节点移动性增加后距离预测的准确性降低的缘故。由图 2 可以看出, 在不同的最大移动速度下, DP-ERS-AODV 和 FLOOD-AODV 的路由延时差不多, 而比 ERS-AODV 降低了 20%~60%。主要是因为 ERS-AODV 多轮次路由的过程相当费时, 同时在网络业务量不大的情况下, 信道冲突较少, 因而端到端延时受路由发现延时影响较大。从图 2 可以看出 DP-ERS-AODV 和 FLOOD-AODV 的路由延时相差不多。

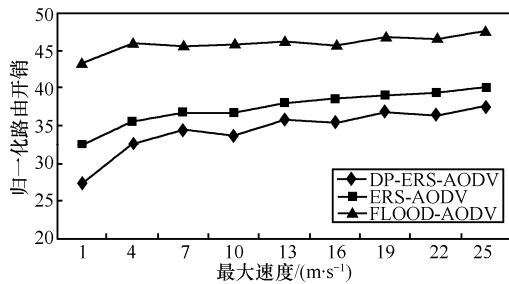


图 1 不同最大速度时的归一化路由开销

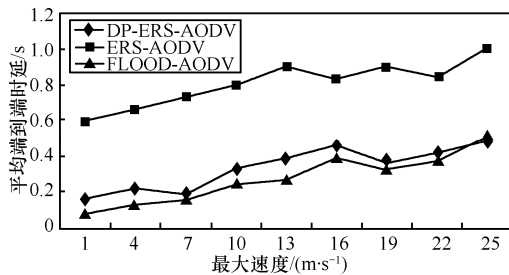


图 2 不同最大速度时的平均端到端时延

4.2.2 不同节点数目

在 1 000m×1 000m 的区域内节点最大移动速度为 5m/s, 最大连接数 10, 节点数目分别为: 30、50、70、90、110。

图 3 给出了归一化路由开销随不同节点数的变化情况, 随着节点数的增加, 3 种协议的路由开销都在增加, 其中 FLOOD-AODV 增加的幅度最明显, DP-ERS-AODV 在不同的节点数时路由开销最小。这是因为节点数目越多, 广播分组转发次数增加, 因而简单洪泛的路由开销会随着阶段数目同比增长。节点数目增加后节点密度相应增加, ERS 的优势开始体现, 但总体来看, DP-ERS-AODV 通过距离预测明显地降低了路由开销。图 4 给出了平均端到端时延随不同节点数的变化情况, 节点数增加, 数据分组转发次数增加, 信道冲突增加, 因而时延增加, 同时节点数增加, 网络连通性变强, 又使得等待时延降低。整体上来看, DP-ERS-AODV 的端到端时延比 ERS-AODV 大幅度的减少, 和 FLOOD-AODV 差不多。

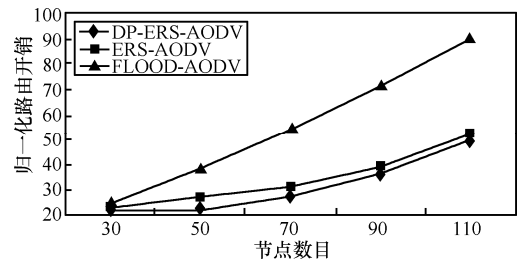


图 3 不同节点数时的归一化路由开销

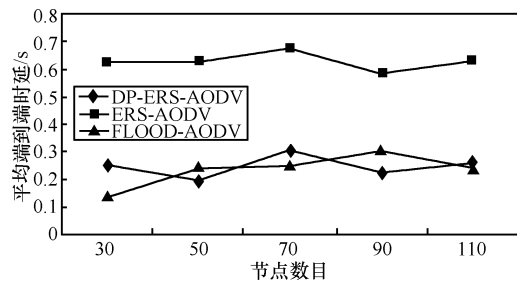


图 4 不同节点数时的平均端到端时延

4.2.3 不同仿真区域

100 个节点, 最大移动速度为 5m/s, 仿真区域分别为: 500m×500m、800m×800m、1 000m×1 000m、1 200m×1 200m、1 500m×1 500m、2 000m×2 000m。

从图 5 可以看出, 随着仿真区域的增大, 归一化路由开销明显增大。整体来看 DP-ERS-AODV 的归一化路由开销最小, FLOOD-AODV 最大。仿真区域较小时, 节点密度较大, ERS 体现出一定的优

势。从图 6 可以看出，随着仿真区域的增大，源节点与目的节点之间的跳数增加，因而时延呈增大趋势。整体来看 DP-ERS-AODV 的端到端时延最小，ERS-AODV 最大。同时仿真区域较小时，节点密度较大，因而信道冲突较为严重，增加了等待时延，洪泛时的情况尤其严重，FLOOD-AODV 在仿真区域增大到 1 200m×1 200m 之前，端到端时延是逐步减小的。

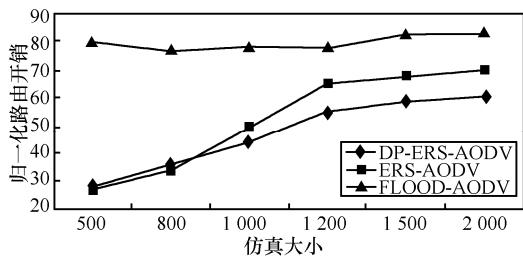


图 5 不同仿真区域的归一化路由开销

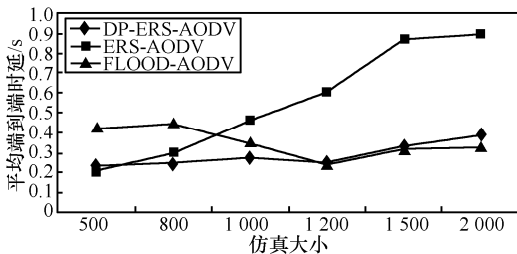


图 6 不同仿真区域的平均端到端时延

4.3 参考点组移动模型下仿真与结果分析

仿真区域分别为：2 000m×800m，100 个节点，分为 4 组，每组 25 个节点，每组的移动区域并不是遍布全网络，而是有其相对固定的区域，最大连接数为 30，只研究最大移动速度变化的情况：1m/s、5m/s、8m/s、10m/s、15m/s、20m/s、25m/s、30 m/s。

从图 7 可以看出，DP-ERS-AODV 的归一化路由开销最小，这是因为在设定的组移动模型下，组内节点距离短，组间距离大，距离相对稳定，距离预测的准确性得到提高，这样在较少的轮次内找到目标节点的几率增加，因而减少了路由开销和路由时延。ERS-AODV 只是在组内节点通信的时候表现出较好的性能，而组间节点通信的时候，逐轮扩展的作法就会增加路由开销。FLOOD-AODV 不论什么情况都是全网络洪泛，显然路由开销较大。随着速度的增加 3 种协议的路由开销都有所增加，但是变化幅度并不大，这是因为每组节点的移动范围并不是全网络，速度的变化只是在其限定的活动区域内，对整体的距离跳数影响不明显。从图 8 可以看

出，3 种协议中 ERS-AODV 的平均路由延时最大，这是因为 ERS-AODV 每一轮次的路由查询过程中都要等待回复，而这个等待时间最少是单程路径时延的 2 倍，尤其是目标节点较远时，每一轮次的等待时间累加起来极大地增加了路由延时。DP-ERS-AODV 相比 FLOOD-AODV 减少了信道冲突，延时相应减少，但是 DP-ERS-AODV 计算的只是距离的预测值，并不是精确值，因此有些时候仍然要通过多轮的扩展搜索才能找到目标节点，会增大路由时延。总体上来看 DP-ERS-AODV 的端到端时延与 FLOOD-AODV 相近。

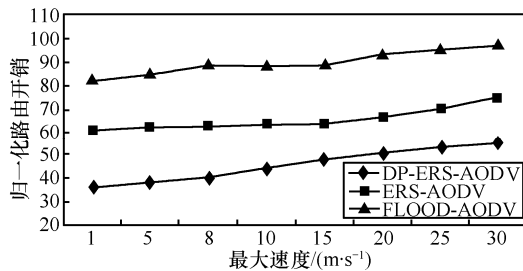


图 7 不同最大速度时的归一化路由开销

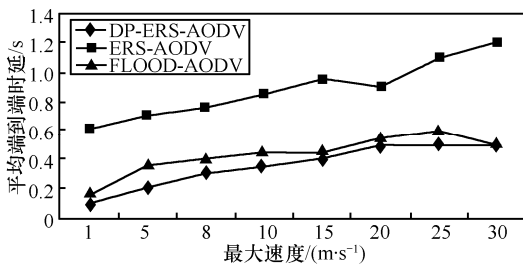


图 8 不同最大速度时的平均端到端时延

5 结束语

本文借助于距离预测的方法对移动自组织网络的路由发现方法进行了改进。传统的路由发现方法采用洪泛或者扩展环搜索，会带来较大的路由开销和延时。通过从历史记录中提取代表节点移动规律的长程信息和瞬时信息，在引入变异因子和衰老因子加权修正的基础上，预测了到目标节点的距离。在此基础上计算并优化了扩展环搜索的起始 TTL 值、广播阈值和扩展步长。算法在经典的 AODV 协议上实现(称之为 DP-ERS-AODV)，并用 NS2 模拟软件进行了仿真。仿真结果表明，该方法在多种场景下都降低了路由开销和时延，有效地提高了网络性能，而且算法实现简单，不需要增加辅助设备，具有实际意义。

参考文献:

- [1] CHLAMTAC I, CONTI M, LIU J N. Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges[J]. *Ad Hoc Networks*, 2003, 1(1): 13-64.
- [2] ABOLHASAN M, WYSOCKI T, DUTKIEWICZ E. A review of routing protocols for mobile ad hoc networks[J]. *Ad Hoc Networks*, 2004, 2(1): 1-22.
- [3] 江国星, 易明. 低开销的 MANET 网络按需路由协议[J]. *通信学报*, 2009, 30(7):27-35.
JIANG G X, YI M. Low overhead on-demand routing protocol for mobile ad hoc networks[J]. *Journal on Communications*, 2009, 30(7):27-35.
- [4] PERKINS C, BELDING-ROYER E, DAS S. AODV Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing[S]. The Internet Engineering Task Force, IETF, RFC 3561, 2003.
- [5] NI S Y, TSENG Y C, CHEN Y S, *et al.* The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network[A]. the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM 99)[C]. Seattle, Washington, 1999. 151-162.
- [6] HASSAN J, JHA S. Optimising expanding ring search for multi-hop wireless networks[A]. IEEE Global Telecommunications Conference[C]. 2004. 1061-1065.
- [7] SHIN K, PARK K, CHUNG M, *et al.* Energy efficient route discovery for mobile HCI in ad hoc networks[A]. Springer-Verlag Lecture Notes in Computer Science[C]. 2007. 635-644.
- [8] WU K, YANG H C, LI F. Pessimism is mostly the best in the expanding ring search for wireless networks[A]. Proc of IEEE Global Telecommunications Conference Globecom'2006[C]. San Francisco, California, 2006. 1-5.
- [9] CHANG N, LIU M. Revisiting the TTL-based controlled flooding search: optimality and randomization[A]. Proceedings of the Tenth Annual International Conference on Mobile Computing and Networks (MobiCOM'04)[C]. Philadelphia, PA, 2004. 85-99.
- [10] CHENG Z, HEINZELMAN W B. Flooding strategy for target discovery in wireless networks[J]. *Wireless Networks*, 2005, 11(5): 607-618.
- [11] 刘永强, 严伟. 移动自组网中基于启发式环索算法的 Anycasting 路由的研究[J]. *计算机学报*, 2005, 28(10):1608-1613.
LIU Y Q, YAN W. Research on Anycasting routing based on heuristic ring search algorithm in MANET[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2005, 28(10):1608-1613.
- [12] JING D, ZUYEV S. On search sets of expanding ring search in wireless networks[J]. *Ad Hoc Networks*, 2008, 6:1168-1181.
- [13] PARK I, KIM J, PU I. Blocking expanding ring search algorithm for efficient energy consumption in mobile ad hoc networks[A]. The Third Annual Conference on Wireless on-demand Network Systems and Services[C]. Les Menuires, France, 2006.191-195.
- [14] PHAM N D, CHOO H. Energy efficient expanding ring search for route discovery in MANET[A]. IEEE Communications, 2008(ICC'08)[C]. 2008,3002-3006.
- [15] RACHURI K K, MURTHY C S R. On the scalability of expanding ring search for dense wireless sensor networks[J]. *J Parallel Distrib Comput*, 2010, 70:917-929.
- [16] GONZALEZ M C, HIDALGO CA, BARABASI A L. Understanding individual human mobility patterns[J]. *Nature*, 2008,453:779-782.
- [17] 彭辉, 沈林成, 卜彦龙等. 一种 Ad Hoc 网络群组移动模型[J]. *软件学报*. 2008, 19(11):2999-3010.
PENG H, SHEN L C, BU Y L, *et al.* Group mobility model for ad hoc networks[J]. *Journal of Software*, 2008,19(11):2999-3010.
- [18] BROCKMANN D, HUFNAGEL L, GEISEL T. The scaling laws of human travel[J]. *Nature*, 2006, 439:462-465.
- [19] RHEE I, SHIN M, HONG S, *et al.* On the levy walk nature of human mobility[A]. INFOCOM 2008: the 27th Conference on Computer Communications[C]. Phoenix, AZ, 2008. 924-932.
- [20] The network simulator ns-2[EB/OL]. <http://nsnam.isi.edu/nsnam/index.php>, 2009.

作者简介:



李世宝 (1978-), 男, 山东潍坊人, 中国石油大学 (华东) 讲师, 主要研究方向为无线自组网、无线传感器网络。



洪利 (1969-), 男, 江西赣州人, 博士, 中国石油大学 (华东) 副教授, 主要研究方向为无线通信、无线传感器网络、下一代网络等。