

DOI: 10.7652/xjtub201302002

高动态网络的自决策式地理机会主义路由

李琳琪, 杨新宇, 刘蔚

(西安交通大学计算机科学与技术系, 710049, 西安)

摘要: 针对高动态网络下频繁的拓扑探测和位置更新造成路由协议低效甚至失效的问题, 提出自决策式地理机会主义路由算法。该算法不指定转发节点, 而是在消息传递时, 将转发规则携带在消息中广播出去, 接收节点根据位置信息和预先设置的规则判断自身是否具有转发消息的权利, 并根据贪婪规则计算自身的优先级确定转发时机, 从而避免了拓扑探测或位置更新的需求。实验结果表明, 在节点移动速度相当高的网络环境下, 协议依然工作正常, 网络性能明显优于同等环境下的传统路由协议。

关键词: 自决策; 地理; 机会主义路由; 高动态网络

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2013)02-0007-07

Self-Decision Geographic Opportunistic Routing for Highly Dynamic Networks

LI Linqi, YANG Xinyu, LIU Wei

(The Department of Computer Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049, China)

Abstract: A Geographic Opportunistic Routing with Self-decision (SGOR) is proposed to solve the inefficiencies or failure problems of the routing protocol caused by frequent topology detection and location update in the high dynamic networks, SGOR does not specify the forwarding node, but carries rules in the broadcasting message. The receiving node decides whether to forward the message according to the pre-set rules and its own geographic information independently, and calculates its own priority according to the greedy rule. Thus, the needs for topology detection or location update are avoided. The experimental results show that: SGOR is still working properly even in the network with high-speed movement nodes, and the network performance is significantly better than that using traditional routing protocol in the same environment.

Keywords: self-decision; geographic; opportunistic routing; highly dynamic networks

海事救援等过程中因环境因素的限制常需要采用自组网方式, 随着科技进步, 越来越多的高速设备出现在这些领域, 例如无人机、舰艇等, 这些设备移动快, 通信范围广, 加入网络后, 造成网络拓扑的高动态性, 对传统的自组网路由协议提出了挑战。在拓扑高速变化的移动网络中, 使用传统路由协议会频繁触发路由更新, 产生大量的控制开销, 造成数据

转发延迟增大, 丢包率剧增, 甚至造成协议失效。即使是网络拓扑依赖性较低的基于位置的路由协议, 拓扑的快速变化也会触发频繁地位置更新, 使得节点无法匹配正确的网络信息选定路由, 严重影响了网络的连通性。

机会主义路由充分利用了无线网络的广播特性, 旁听节点亦能侦听数据包, 并给下一跳节点发送

收稿日期: 2012-08-09。 作者简介: 李琳琪(1977—), 男, 博士生; 杨新宇(通信作者), 男, 教授。 基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2006AA01Z210); 教育部跨世纪优秀人才基金资助项目(NCET-09-0649); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20100201110027)。

网络出版时间: 2012-11-02

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20121102.1836.001.html>

消息,无需源发节点重传数据,降低了无效的传输过程,从而提升网络的吞吐量和连通性^[1-2]。典型协议例如 ExOR(Extremely Opportunistic Routing)^[3],每个节点都存有一张全网拓扑图,转发时根据期望传输值,决定转发节点的候选集和优先级。基于位置的协议例如 GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)^[4],网络节点都知道自身位置并被统一编址,节点利用贪婪算法尽量沿直线转发数据,高速网络中,节点要获取邻居信息则不可避免地触发频繁的位置更新。结合地理位置与机会路由的协议例如 TO-GO(TOpology-assist Geo-opportunistic Routing)^[5],则采取布隆过滤器来对邻居节点进行筛选,构成转发集,并根据邻居节点数进行优先级的调度,这些协议的路由决策时所依赖的信息随着节点移动速度变化,更新的需求也同步提升,在信息频繁变化的高动态网络中,这些协议显然缺乏良好的适应性。

本文提出的自决策式地理机会主义路由 SGOR 算法(Self-decision Geographic Opportunistic Routing)的设计思想是:发送节点以广播方式发出携带转发规则的数据包,接收节点根据规则自主决策是否转发数据包,在此基础上,采用机会主义路由的思想,以位置的信息约束节点,使用绝对优先级的方式消除节点的隐藏终端问题,以无连接形式传递消息。该算法中节点依据自身和上一节点以及目的节点的位置做转发决策,而无需转发节点进行路由选择,转发的决策由接收者完成而非发送者,将发送者的控制负载分布到所有接收者上,降低了算法复杂度和网络拓扑依赖性,更适应高动态的网络环境。

1 协议设计

SGOR 摒弃了传统协议的拓扑依赖性,其核心思想是由消息携带规则参数,接收节点根据预先设定规则及接收到的参数自行决策转发与否以及转发时机,达到拓扑无关,从而消除周期性的信息采集过程,便于更好地适应高动态的网络,本协议包含以下两个假设。①稠密网络,即节点密度是符合一定要求的,基本能满足存在通路的需求。节点都配备定位设备且为同构,即节点的发送半径和接收半径都相同,目的是为了简化并提炼关键问题。通常认为节点分布符合泊松分布^[6],本传输协议大约完成 90% 以上的消息传输,其余因网络连通性等原因造成的协议失效时,将采取传统的消息传输协议来完成。②目的节点固定且位置信息已知,为提炼关键问题,

对应用环境进行简化,假定目的节点的位置是固定的,即消息生成时,目的节点的位置信息是已知的。

1.1 协议思想

SGOR 协议选择贪婪算法作为路由决策的规则,这个规则有两层含义:①当前节点一定要比上一个节点更接近目的节点,才有转发的资格;②距离目的节点越近的节点,拥有的转发优先级越高,而源与目的节点的位置信息以及相关参数作为规则参数传递给各个接收到的节点。协议的流程如下:

步骤 1 源节点发出消息包,消息中包含源节点、目的节点 id 和位置信息等相关参数以及具体应用数据,等待指定时延,若未收到其他节点返回的 ACK,则在计时器到达时再次发送消息。尝试指定次数后仍未收到 ACK,则返回错误,否则消息发送成功,准备接收响应或发送下一个数据包。

步骤 2 中间节点接收消息包,需要决定是否要转发消息包,它需要判断自身是否在候选集内,如果不在,直接丢弃消息,如果在候选集内,进入步骤 3。

步骤 3 中间节点判断消息包是否完整,若完整进入步骤 4,若不完整,发出消息协作请求,请求周围节点修补消息包。修补完整后进入步骤 4,如果在修补过程或等待过程中接收到 ACK,则丢弃当前消息。

步骤 4 根据优先级规则计算优先级,并得出时延,在时延内如收到 ACK,表示有其他节点优先级更高,丢弃自己的消息包,若收到协作请求,则标记包类型,并发出自己的包,不更改候选集及优先级规则。若时延到达后未收到 ACK,则转发消息包,并更改候选集及优先级规则,回应 ACK 消息,本转发成功。

步骤 5 重复步骤 2~4,直到目的节点接收到消息。完成一个数据包的传输。此后的消息传递采用握手还是无连接方式,可根据对消息可靠性的需求选择。

1.2 关键问题

SGOR 中为实现节点的自我决策,需要解决以下 3 个关键的问题:首先是建立候选节点集;其次是在无参照物的情况下为候选集中节点合理分配优先级;再次是解决候选节点之间的协作问题,即消息补偿机制。

1.2.1 候选集的建立 通常机会主义路由候选集的建立条件都是基于数据成功率^[7]、网络拓扑最短路径^[8]、RSSI 强度等,这些判定条件造成了对其他节点信息的依赖,在网络节点的高速移动下,使得协议收敛相当困难。SGOR 将候选集这个抽象的集合

实质化,以空间的特定区域为集合区域,进入指定区域的节点自然成为候选集成员。转发节点在每次转发时,只要将区域约束带入数据包中,那么接收节点根据自身的位置即可判断自身是否在转发候选区域内,是否具有转发资格。这个地理区域的选择约束即前面提到的规则。根据 OR 的特点,一次机会转发成功概率为

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$$

式中: P_i 代表第 i 个节点的成功转发的概率。由此可见,在不考虑竞争信道分配等因素影响的情况下,理论上参与转发的节点越多成功传输的概率越大,因此,希望参与传输的节点尽可能地多。按照贪婪规则,所有比转发节点更靠近目的节点的节点都具有转发消息的条件,这里有一个隐含的条件,属于自然约束,即所有的候选集内节点都在上一跳节点的传输范围内。为增加机会的成分,此条件可以不作为约束,因为实际的传输过程与仿真不同,传输范围不是一个绝对的界限,范围外的节点也有可能接收到消息,这样的节点比其他传输范围内的节点更接近目的节点,更符合贪婪规则。

另一方面,为了减少多节点重复转发产生的额外网络负载以及消除隐藏终端问题,候选集内所有节点应能互相听见,即所有的集内节点都在一个以 $R/2$ 为半径的圆内,这样的约束规则会使很多优质节点(距离目的节点更近、消息成功率更高的节点)被排除在候选集之外。为此,是放弃冲突选取优质节点,还是放弃优质节点而减少冲突,需要进行取舍。幸运的是,机会主义路由中对消息的转发有一种确认机制,如果把消息的传递限制在候选集内的话,配合面向目的节点的贪婪算法,就不会造成全网的洪泛,那么将规则做一个折中,即不限定候选集内所有节点都可以互相听见,而是仅保证同优先级的节点可以互相听见即可,这样既能扩大参与节点,也可很大程度地消除隐藏终端的问题。如图 1 所示,做两条平行轨迹的直线,直线距离中心轨迹的距离不超过

$$h = ((R^2/4) - d^2)^{1/2} \tag{1}$$

式中: d 为第一级优先级扇环的宽度。这样可以近似满足所有同优先级内节点在没有障碍物的情况下可以互相“听见”,便于管理。至此,建立了一个物理位置上的候选集区域,方便接收节点依此计算自己是否在候选集区域内,同时限定消息传播范围,消除洪泛风险。

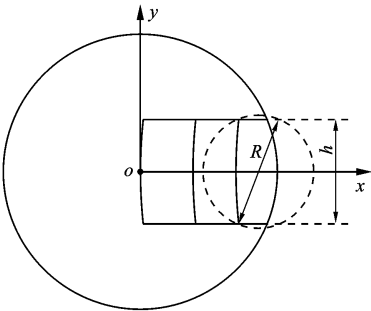


图 1 候选集示意图

1.2.2 候选节点优先级的建立 机会路由由节点优先级的建立要充分考虑几个方面。首先,优先级的选择上体现贪婪算法,距离目标越近的节点具有越高的优先级。这里要注意的是,SGOR 的优先级排序与传统排序不同,传统的节点优先级排序是由发送节点对候选集内所有节点进行比对和排序,之后来确定优先级,SGOR 中的优先级划分则不能采取这种方式,因为高速运动的节点信息过期很快,为了消除不准确的信息对路由的负面影响,SGOR 并没有保存其他节点的信息,因此也无法按传统方式进行优先级的排序。SGOR 使用了绝对优先级的概念,这个优先级与节点与源节点和目的节点的相对位置有关。它以发送节点的传输边界作为基准线,将优先级投射到物理的区域上,如图 2 所示,这里划分两个大区域,在基准线也就是传输半径范围以外的部分为 A 区域,传输半径范围内的部分为 B 区域,B 区域内的节点比 A 区域内节点更接近目的节点,但因为其在传输半径以外,B 内节点接收到转发节点消息的概率趋近于 0,所以把这区域和 A 区域内优先级最高的区域合并在一起,构成集合中最高

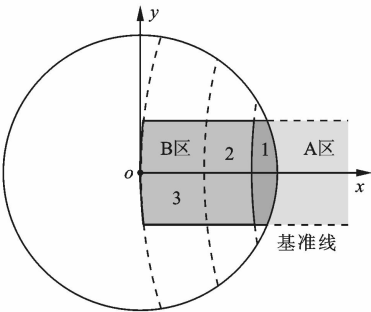


图 2 优先级示意图

优先级区域。B 区域内进行优先级区域的划分,划分的主导思想是,优先级越高的节点,成功转发机会越多,优先级越低的节点转发机会越少。与前面提到的机会路由不同的是,SGOR 按区域划分优先级,

往往会出现一个优先级区域内有两个或更多的节点,这样就会同时有多个节点转发,那么就存在竞争,通过合理的划分和 MAC 层的竞争机制可以解决这个问题。这种划分不能保证每个优先级内只有一个节点,而同一优先级内节点越多,产生冲突的可能越大,造成时延越长,因此希望节点在各阶优先级中也是呈金字塔状分布,最高优先级内的节点最少,最低优先级内的节点最多,体现在协议候选集内就是,最高优先级区域面积最小,最低优先级区域面积最大,而根据贪婪规则,距离目的节点越近的优先级越高,反之则越低。另一方面,优先级的划分也不是越多越好,过多的优先级会导致更多的等待时间,从而限制了转发节点重传的时间间隔,例如每个优先级等待时间 Δt ,那么如果有两个优先级的划分,转发节点在 $2\Delta t$ 的时间内没有收到 ACK 消息,就可以进行重传,而如果划分了 5 个优先级,那么转发节点必须在至少 $5\Delta t$ 的时间间隔后才能重传消息,因此优先级分几级也是需要慎重选择的,经过实验发现,优先级分为二级和三级的情况下协议性能比较好,更多级的划分使协议性能反而下降。假设节点密度为 ρ ,最高优先级的分块的大小即为 $\kappa\rho$, κ 为系数,用来调整分块的大小,以保证分块中有一定数目的节点参与传输。在传输半径限定的扇形中,分块内的长度即为

$$d_0 = R \left[1 - \cos \left(\frac{S_0}{2\pi R^2} \right) \right] \quad (2)$$

式中: $S_0 = \kappa\rho$ 为第一优先级的分块面积; R 为转发节点的传输半径。后续优先级区域由于受到感知边界限制,近似为高为 h 的矩形,分块内长度 $d_i = \frac{S_i}{h}$,接收节点与转发节点投影在横轴上的距离为 D ,如果 $\sum_{i=0}^{n-1} d_i < (R-D) < \sum_{i=0}^n d_i$,则该节点优先级为 n , d_i 为优先级 i 分块区域内的长度。据此,候选集内的节点都可根据自身位置生成相应优先级。

1.2.3 消息补偿机制 消息转发过程中,一个节点接收到消息后经校验发现消息并不完整,传统的处理方法是发送节点重传该消息,但实际的情况是,某段短暂时间内,节点间的链路质量变化是微乎其微的,重传的结果往往是仍旧收到不完整的消息,而在 SGOR 中,出现这种情况时并不直接要求重传,而是发出补差请求,各个优先级区域内节点根据自身优先级等待相应时延后做出补差。从另一个角度来说,由于比它更低的优先级区域距离转发节点更

近,其消息的完整性会更高,而这个区域与当前节点的区域更接近,可以更方便可靠地填补当前节点的信息缺失。假设节点 a 传递到节点 b 的成功率为 50%,如果节点 b 收到的消息不完整,要求 a 重传,那么其成功率仍为 50%,但是如果 b 向较低优先级区域内的节点请求补差消息且该区域内节点能够响应这个请求,那么成功率就是 100%,这样就充分地利用了无线网络的广播特性,以及基于距离传输的优势。当然,这个机制也是以优先级区域的划分为基础的,高优先级区域的响应先于低优先级区域的响应行为。

2 协议分析

首先,在协议正确性方面,SGOR 采用基于地理位置的贪婪方式,每一跳的节点都比上一个节点更接近目标,保证了在消息传递过程中不会出现环路情况,以位置的不可逆转性防止了环路的产生,因此本协议是 Loop-free 的,这是协议正确性的一个基本条件。贪婪方式是地理位置路由中常用的方式,沿着目标方向传递,消息最终一定能够到达目的节点,并且到达目的节点后不会再继续转发消息,这就保证了协议的正确性。当然,最终能到达目的节点的前提是网络节点密度达到一定要求,这里认为节点符合泊松分布 $P(x=k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$,如要求到达后候选集内存在节点的概率达到 0.9 以上,那么 λ 的取值大约为 2.302 6,如要达到更高的概率, λ 取值要更大。 $\lambda = S\rho$, S 为候选集面积, ρ 为节点密度

$$S = 2\arcsin\left(\frac{h}{2R}\right)R^2 + \frac{1}{2}hR - \Delta \quad (3)$$

式中: Δ 为图 2 中 B 区与 y 轴之间的面积。因为当转发节点与目的节点的距离相当远时,与 y 轴相切的弧近似于直线, Δ 也相对很小,这里忽略其对候选集面积的影响。如果要求候选集内存在节点的概率大于 0.9,那么节点密度 ρ 和节点的传输半径 R 之间关系应满足

$$\rho \geq \frac{1}{\lambda} \left(2\arcsin\left(\frac{h}{2R}\right)R^2 + \frac{1}{2}hR \right) \quad (4)$$

$$\text{即} \quad \rho \geq 0.87\arcsin\left(\frac{h}{2R}\right)R^2 + 0.22hR \quad (5)$$

网络中的节点密度达到此标准后,基本可以保证协议的正确运行。

其次,在协议开销方面,SGOR 也比传统协议有很大程度的改善,主要体现在以下几点。①计算复杂度方面,在 SGOR 中,当一个节点发送消息时,不

需要像传统协议一样查询路由表,也不用发起路由探索,只要简单地添加目的节点信息、候选集范围等相关参数即可,而主要的计算工作集中在节点接收到消息时的候选集的判断以及优先级的计算,这个判断和计算过程的时空复杂度为 $[O(1)+V(1)]$ 。

②控制开销方面,SGOR 将转发规则的参数包含在消息头中,增加了消息的控制字段,一定程度上增加了开销,如果是静态或是低动态的网络,这部分的开销无疑是冗余的,但在高动态网络中,相比频繁不断的位置更新或是路由探索,这部分开销又是微不足道的。另一方面,机会主义路由方式利用了无线传输的广播方式,但是协议通过候选集将广播范围局限在一个特定的物理区域内,超出区域的消息都将被丢弃,不会产生全网的数据洪泛,如果当前节点的传输半径为 R ,那么本跳传输广播波及到的节点最大不会超过 $2R$ 为半径的圆形区域,这其中包括因补差请求以及响应而广播的数据包的影响范围,而整个消息的传递过程也是面向目的节点的一定宽度的物理区域范围内,信息不会向外扩散,所以控制信息开销不会如洪泛协议那样随着网络规模增加呈几何式的增长,而是基本保持不变,这也是 SGOR 在开销控制上的优势。③时间开销方面,一次消息传递所花费的时间组成为 $D=D_s+D_t$,其中 D_s 为路由选择时间,即选定下一跳节点所需的时间, D_t 为数据传输时间,即数据完成从当前节点到下一跳节点的传输所需的时间。

在 SGOR 中,一次机会转发的时间 D 也是由这两部分组成。 D_s 包括接收节点的计算时间和相互协作时间两部分,其中接收节点的计算时间为节点完成自身候选集判断和优先级计算的指令执行时间,协作时间为 $\sum_{i=0}^n P_i(i+1)t$,这里 $(i+1)t$ 表示每一级优先级的时延,其中 i 为优先级的级数, t 为单位延迟数, t 需要大于节点完成运算包含的指令执行时间, n 是优先级区域的数量,为一有限常数,对于 $\sum_{i=0}^n P_i(i+1)t, \forall C_i \in [t, (n+1)t]$,每次转发最小时延为 t ,最大不超过 $(n+1)t$ 。需要说明的是,这里所说的高速网络,节点的移动速度最高也就是在超声速左右,大约 340 m/s ,特殊的如航天器等节点的运行速度最高达到第三宇宙速度 16.7 km/s ,仍然与光速的 $299\,792.458 \text{ km/s}$ 相差若干数量级,因此不会存在节点刚完成计算指令路由就失效的情况。另一部分 D_t 则与一跳传输的吞吐量相关,机

会路由成功传输的概率为 $1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$,这里 i 为优先级的级数, P_i 为该优先级成功传输的概率,那么一跳传输的吞吐量期望为

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^i (1 - P_{j-1}) \right) P_i T_i}{1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)} \quad (6)$$

式中: $P_0=0$ 。这个期望值是明显高于传统单跳网络的,由此可见,机会主义的传输方式将传输吞吐量成功地提升,因此 SGOR 的 D_t 是低于传统网络的。

从以上分析可以看到,相比传统单跳网络,SGOR 协议中 D_t 是有一定优势的,但 D_s 的存在使得 SGOR 在低速环境下协议性能可能低于传统网络,因为其劣势是优先级发送的等待时延,另外就是多节点冲突。因为 SGOR 使用了绝对优先级方式,大部分的消息操作都是以时隙间隔进行区分,这就对消息转发的延时产生很大影响,优先级规避、竞争规避、补差请求等待、ACK 等待等几个状态都需要利用时间来区分,尽管在网络依赖性上降低了需求,但在网络时延上的开销有所增加。因此在协议设计的时候,需尽量利用概率统计的方法保证在第一优先级中存在适合的节点,使得高优先级区域转发成功概率增加,从而将时延降到最低。但是另一方面,因为 SGOR 无需探针包周期探测,也无需位置更新广播,因此在节点运行速度大幅增加的情况下, D_s 的增长并不敏感,而传统的协议会直接受到信息失效的困扰, D_s 急剧增加,最终导致协议失效。综上所述,在高动态网络中,SGOR 在开销控制方面的优势还是比较明显的。

3 仿真实验

3.1 环境与参数设置

在低速环境下,相对传统单径协议或是机会路由协议,SGOR 协议优势都不明显,但随着节点运行速度的增加,协议的优势逐渐显现,在高速环境下很多协议可能已经失效,因此在 OPNET 网络仿真平台上,选择了移动 Ad hoc 网络的 GPSR、EXOR 以及 TO-GO 路由协议进行仿真比对。这 3 个协议在路由选择时分别涉及了邻居节点信息、全网拓扑和局部网络拓扑,通过网络不同节点运动速度下各个协议性能的对比,验证 SGOR 对网络高动态性的适应度。

实验选择 OPNET10.0 作为仿真环境,网络覆

盖范围为 $1\,000\text{ m}\times 1\,000\text{ m}$ 的区域,节点数为 64 个,节点最大移动速度为 360 m/s ,节点运动模型为 Waypoint,数据率为 1 MB/s 。

3.2 实验结果及分析

首先来看端到端传输的收包率和丢包率的统计。收包率是指单位时间内收到数据包的个数,丢包率为单位时间内丢失数据包的个数,体现的是吞吐量的变化。

图 3 给出了 4 个协议在不同节点运行速度下的丢包率的仿真统计数据,反映了随着网络动态性的提升,协议性能的变化。如图所示,在节点静止情况下,各个协议的丢包率都很低;当节点的运动速度达到 40 m/s 时,EXOR 和 TO-GO 协议的丢包率开始急剧上升;当节点的运动速度达到 120 m/s 后,GPSR 的协议性能也发生显著的改变,丢包率上升很快,而此时 EXOR 和 TO-GO 协议的丢包率已经达到 80% 左右,协议已经不能正常工作;当节点运动速度达到 240 m/s 时,GPSR 的丢包率达到 70% 左右,基本所有数据包都丢失,协议几乎失效;在速度达到 360 m/s 时,因为丢包率太高,已经无法统计。与此相比,SGOR 在节点低速运动和高速运动情况下丢包率发生的变化不是特别显著,但在速度很高的情况下也有不少丢包,究其原因,应是节点运动的无规律性造成空洞,即候选集内没有可用节点,无法满足协议的稠密网络的要求,相关后备处理又不完善,造成了数据丢失,但总体效果还是良好的。由此可见,SGOR 协议对高速运动环境适应性相对较高。

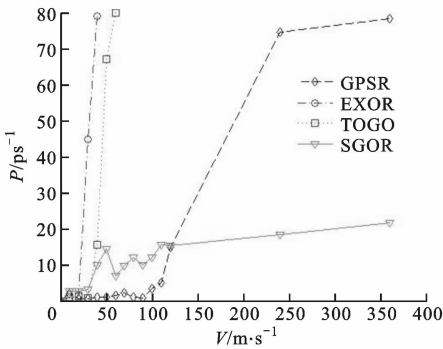


图 3 平均丢包率

图 4 对比了 4 种协议在不同节点移动速度的情况下的端到端时延,这里端到端时延是指数据包从源节点发送到目的节点所经历的时间的平均值。从图中可以看到,随着节点速率的增加,除了 SGOR 的时延上升趋势缓慢,变化并不明显外,其他 3 个协

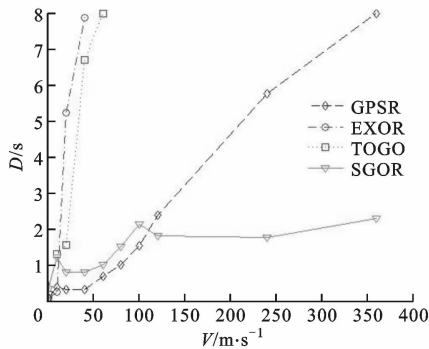


图 4 端到端时延

议的时延都发生了显著变化,首先 EXOR 在速度增加到 40 m/s 时,时延就比较高了,很快 TO-GO 的数据也发生了明显提升,GPSR 的时延相对变化较慢,在速度达到 120 m/s 时,EXOR 和 TO-GO 两个机会路由的时延已经无法统计,而 GPSR 协议在 360 m/s 时其数据无法统计。

图 5 对比了 4 种协议在不同节点移动速度的情况下消息从源节点到目的节点传输的平均跳数,其中 EXOR 和 TOGO 协议在速度不到 50 m/s 时,协议失效,无法统计,GPSR 协议在节点移动速度比较低时,平均跳数基本都低于 SGOR,当速度增加时,跳数产生了比较明显的变化,但基本都高于 SGOR。SGOR 的跳数基本保持比较平稳的状态,在 6 跳左右变动,出现这种状况是因为 GPSR 在低速网络中节点位置掌控比较准确,能充分发挥贪婪转发的优势,而 SGOR 协议因为节点竞争转发关系,使得最终转发的节点并不一定是最靠近目标节点,而是同优先级内比较靠近源发节点的节点,因而跳数会略低于 GPSR,当节点移动速度增加时,因为位置更新的不准确,造成 GPSR 的贪婪选择也不准确,从而造成跳数的增加。可以看到,在 40 m/s 时,出现了 SGOR 的跳数低于 GPSR 的特殊情况,原因可能是节点分布位置的不同造成的。

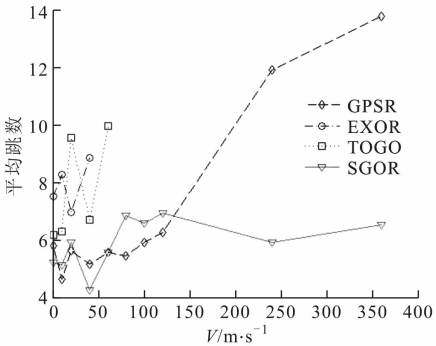


图 5 平均跳数

通过以上仿真实验可以看到,SGOR在节点速度逐步提高的情况下,运行仍比较稳定,其在高动态网络环境下的优势得到有力的证明。

4 结 论

本文中提出了一种自决策式地理机会主义路由SGOR,利用地理位置信息来避免复杂的网络拓扑优化,它无需维护端到端的路径,也不必定期对邻居节点进行位置更新,因此显著地降低了负载,增加了网络性能,提升了网络的可扩展性。通过分析和仿真,描述并证明了SGOR的有效性。仿真结果表明,在高动态的网络环境下,SGOR相比目前的方法可以获得更优的网络性能,但是该协议的局限在于实际网络环境中仅仅依靠地理距离并不能完全体现路径的质量,数据的传输还受到节点密度、障碍物干扰等因素的影响。因此在后续的工作中,如何充分利用这些实时信息,提升网络性能也是重要的研究内容。作为正在进行的研究的一部分,我们拟将SGOR与轨迹移动和群组移动模型相结合,以使得网络可扩展性更高。

参考文献:

- [1] HSU Che-Jung, LIU Huey-ing, SEAH W K G. Opportunistic routing: a review and the challenges ahead [J]. *Computer Networks*, 2011, 55(15): 3592-3603.
- [2] ABABNEH N, LABIOD H, BOUKHATEM N. Evaluation of routing protocols for VANETs in urban environments [C] // *Proceedings of the 33rd IEEE Conference on Sarnoff*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 276-280.
- [3] BISWAS S, MORRIS R. ExOR: opportunistic multi-hop routing for wireless networks [C] // *Proceedings of the 2005 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications*. New York, USA: ACM, 2005: 133-144.
- [4] KARP B, KUNG H T. GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks [C] // *Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*. New York, USA: ACM, 2000: 243-254.
- [5] LEE K C, LEE U, GERLA M. TO-GO: TOpology-assist geo-opportunistic routing in urban vehicular grids [C] // *Proceedings of the 6th International Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 11-18.
- [6] ZORZI M, RAO R R. Geographic random forwarding (GeRaF) for ad hoc and sensor networks: multihop performance [J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2003, 2(4): 337-348.
- [7] ZHONG Zifei, WANG Junling, NELAKUDITI S, et al. On selection of candidates for opportunistic anypath forwarding [J]. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 2006, 10(4): 1-2.
- [8] CHEN Qian, LAM S S. Greedy distance vector routing [C] // *Proceedings of the 2011 International Conference on Distributed Computing Systems*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Computer Society, 2011: 857-868.

[本刊相关文献链接]

- 李彬,王文杰,殷勤业,等. 无线传感器网络节点协作的节能路由传输. 2012,46(6):1-6.
- 陈衡,钱德沛,伍卫国,等. 传感器网络基于邻居信息量化的能量平衡路由. 2012,46(4):1-6.
- 郑博,黄国策,张衡阳,等. 甚高频航空自组网的组网概率及连通性研究. 2011,45(8):24-29.
- 何晖,王换招,李昊,等. 增强 Ad Hoc 网络稳定性的移动问题决策策略. 2011,45(4):6-11.
- 卢冀,肖嵩,吴成柯. 无线网络中应用机会式网络编码的广播重传方法. 2011,45(2):68-72.
- 张颖,沈中,常义林. 一种信号强度感知的 Ad Hoc 网络节点移动控制算法. 2011,45(2):107-110.
- 杨文静,杨新宇,董翅勇. 移动 Ad Hoc 网络中提高路由稳定性的动态备份多径路由. 2010, 44(12):16-21.
- 杜君,李伟华,张克旺,等. 无线自组织网络高准确度自私节点检测机制. 2010,44(8):25-29.
- 任品毅,魏莉,廖学文. 一种增强型选择放大转发机会协作分集协议. 2010,44(8):53-57.
- 仝杰,钱德沛,刘轶,等. 针对事件驱动型传感器网络的多路径编码路由协议. 2010,44(6):39-45.
- 刘刚,崔刚,刘宏伟,等. 面向移动节点不确定性特征的自组网路由协议. 2010,44(6):46-50.
- 陈衡,钱德沛,伍卫国. 无线传感器网络地理位置路由度量方法. 2009,43(12):55-59.
- 赵季红,曲桦,张鹏. Ad Hoc 网络中基于链路故障的路由修复机制. 2009,43(10):47-51.
- 郭建立,刘宏伟,吴智博,等. 面向信誉的自组网节点合作方法. 2009,43(8):17-21.
- 方维维,钱德沛,刘轶. 一种相邻节点协作的无线传感器网络可靠传输方案. 2009,43(2):33-37.

(编辑 武红江)