

移动 Ad Hoc 网络路由协议综述^{*}

张顺亮¹ 叶澄清¹ 李方敏²

(浙江大学计算机学院 杭州310027)¹ (湘潭工学院信息系 湘潭411201)²

A Survey of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks

ZHANG Shun-Liang¹ YE Cheng-Qing¹ LI Fang-Min²

(College of Computer, Zhejiang University, Hangzhou 310027)¹

(Department of Information, Xiangtan Institute of Technology, Xiangtan 411201)²

Abstract A review of current research about routing protocols for mobile Ad Hoc networks is made. Based on classifying of them, the characteristic, the strength and the weakness of these protocols are evaluated respectively. Then some crucial strategies to improve the existing routing protocols are proposed. Besides, a frame of new routing protocol for Ad Hoc networks is put forward. Finally, open issues that still need investigation are listed.

Keywords Mobile computing, Ad Hoc networks, Routing protocol, Performance evaluation

1 引言

无线网络由于其移动性和灵活性给人们的生活带来了极大的方便,因此日益广泛地进入我们的日常生活。近年来,一种新型的无线网络即移动 Ad Hoc 网络(MANET)^[1]诞生了。移动 Ad Hoc 网络是由一组移动节点(带有多个终端的路由器、移动通讯设备等)形成一个多跳的、临时性的自治系统。这种网络具有自组织性、自成形性并能够随应用需要快速形成。它可以独立运行,也可以通过网关连接到现有的传统网络上。明显区别于另一种无线网络,即蜂窝网络,它不需要依靠任何固定的基础设施。这种网络模型中的节点共享相同的无线信道。由于节点的发送功率限制而且没有基础设施,因此它们需要互相合作一起完成数据的多跳转发工作。这种网络的每一个节点不但充当终端而且充当路由器为其它节点转发数据包。节点的移动性及潜在的大量节点和有限的资源,使得无线 Ad Hoc 网络的路由协议设计极具挑战性。但由于其巧妙的通讯方式,使它在军事方面具有很大吸引力。另外,在民用方面也具有广泛的应用前景,如法律执行、灾害营救等。近年来 Ad Hoc 网络日益成为一个非常活跃的研究领域。

2 移动 Ad Hoc 网络的特性及挑战

2.1 MANET 的特点

不同于传统的有线网络,MANET 由任意移动的通信设备组成。和传统网络比较起来它具有如下一些特点:

(1)动态的拓扑结构:组成网络的节点可以任意自由移动,因此网络的拓扑可以随时发生快速而且不可预知的变化。

(2)单向信道和双向信道同时存在:受通讯设备的发射功率或地理位置等因素影响,可能出现单向信道。通讯双方中,一方可以直接发送信息给另一方,而另一方无法直接返回信息。

(3)带宽有限性:受无线信道本身物理特性的限制,无线连接的带宽非常有限,再加上竞争共享无线信道产生的碰撞、

信号衰减、噪音干扰等因素,因此实际可以达到的吞吐率远低于广播的最大传输率而且可用带宽经常变化。

(4)能量的约束:移动网络的节点通常是由电池或其它能量有限的设备提供能量,这类设备的能量都是可耗尽的。因此协议的正常运行依赖于节点的能量存储情况。

(5)安全性非常脆弱:和传统有限网络比起来,这种网络更容易受到物理上的安全威胁。难以进行物理上的隔离保护,这就增加了被偷听、拦截和拒绝服务(DoS)攻击的可能性。

2.2 传统路由协议面临的挑战

无线 Ad Hoc 网络最典型的特征就是拓扑结构的动态性。传统路由协议在 Ad Hoc 网络环境中面临着众多的挑战。

首先,传统路由协议主要是针对固定网络设计的,很少考虑拓扑结构的变化。因此当网络的拓扑结构变化以后,传统路由协议需要花费很长时间才能达到收敛。如果在此之前网络拓扑结构继续变化,那么传统路由协议可能始终朝着收敛状态不断靠近,但是始终难以达到收敛。其次,传统路由协议设计一般都基于双向信道假设。许多协议在单向信道存在的环境下不能很好地运行,然而单向信道确实出现在 Ad Hoc 网络环境中。再者,无线信道的广播特性产生了许多冗余链路,因为每个节点的广播一般都覆盖周围多个节点。而对于传统路由协议来说很多连接都是冗余的。在有线网络环境中相邻网络间一般只有一个或少数几个路由器连接。冗余连接使得传统路由协议需要发送很大的路由更新报文,限制了网络的可扩展性。此外,由于传统网络环境中设备的能量一般可以持续供应,能量节省问题也是传统路由协议很少考虑的。作为给移动设备提供能量的电池,其能量都是很有限的。因此依靠周期性更新报文及需要节点做大量计算的传统路由协议都有不适应之处。

3 现有的路由协议及其特性分析

近年来关于 Ad Hoc 网络的路由协议,学者们已经提出大量解决方案。在这里我们仅对点到点的路由协议进行分析,

^{*} 本文得到湖南省自然科学基金项目资助(No. 01JJY2064)。张顺亮 博士研究生,研究方向为网络服务质量、新型网络协议。叶澄清 教授,博士生导师,主要研究领域为计算机网络。李方敏 教授,主要研究领域为网络服务质量。

而不考虑组播路由协议。关于 Ad Hoc 网络的路由协议分类,文献上有不同的方法。文[2]将其分为两大类,即 proactive 和 reactive。本文根据现有协议的工作机制大致将其分为四类:(1)主动(proactive)路由协议;(2)按需(on demand)路由协议;(3)杂交(hybrid)路由协议;(4)全球定位系统 GPS 辅助的路由协议。下面仅对其中典型的协议进行分析。

3.1 主动路由协议

这类协议的路由发现机制和传统路由协议相似。节点周期性地广播路由信息、交换路由信息、主动发现路由。同时维护到达网络所有节点的路由。多数基于距离向量 DV (Distance-Vector)和连接状态 LS(Link-State)方法的协议都属于这类。其中典型的几个有:

DSDV (Destination Sequence Vector)^[3]是基于经典 Bellman-Ford 算法基础之上的一种表驱动路由协议。它通过采用序列号机制区分路由的新旧程度消除路由环路而提高了原算法。其缺点就是在源和目的节点之间只提供一条路由且不支持单向连接。

WRP(Wireless Routing Protocol)^[4]协议是在路径发现算法 PFA 基础之上设计的。此协议要求路由节点交换每个目标节点的距离及倒数第二跳信息。不同于 PFA,它强制每个节点对所有邻居节点关于倒数第二跳信息进行一致性检查,避免了“count-to-infinity”^[5]问题。它解决了环路问题并且连接失败时可以加快收敛速度。缺点就是不能及时解决环路问题。

CGSR(Cluster Head-Gateway Switch Routing)^[6]是一种基于群的路由协议。它通过一个稳定的群算法 LCC (Least Cluster Head Change)把网络分成群并为每个群选出一个群首(cluster head)。利用 LCC 可以避免群首的频繁更替以保障群首身份的稳定性。每个节点维护两个表,即群成员表和路由表。节点使用 DSDV 协议与邻居节点定期交换群成员表信息。为了传送一个数据包,当前节点首先在群成员表中查找目标节点所在群的群首节点,然后在路由表中查找去往目标群首的下一跳节点,数据最终经由目标群首到达目的节点。此协议的优点就是大大减小了一般 DV 协议路由表的大小,因为它为所有处于同一个群的节点只提供一个路由条目。但它在移动环境下维持群比较困难。

属于这类协议的还有 FSR^[7]、HSR^[8]、OLSR^[9]、LANMAR^[10]、TBRPF^[11]等。我们就不一一阐述。下面就这类协议进行讨论。

这类协议的优点就是获取路由的延时小。因为每个节点都保存着到其它节点的路由信息,这非常适合于有实时要求的应用。其中基于 LS 的协议非常适合于有 QoS (quality of service)要求的应用,因为它能够提供连接的代价和容量信息。但这类协议也有一些缺点。基于 DV 的协议简洁且计算效率高,但是收敛速度较慢。基于 LS 的协议通过全局网络拓扑结构信息的定期交换解决了上述问题,但其泛洪式(flooding)扩散连接状态信息将会产生过高控制信息开销,特别是在高度动态的环境下。当网络规模较大、移动速度较高时,主动路由协议受到一定限制。因为定期交换路由信息会消耗大量有效带宽并且耗费大量的节点能量。

3.2 按需路由协议

按需路由协议的设计思想是只有在需要时才进行路由发现,以缓解主动路由协议由于周期性交换更新信息带来的开销和扩展性问题。这类协议一般通过请求/应答过程来发现到

一个目标的路由。它们的控制信息包一般都比主动协议的小,可以在一定程度上减少路由开销。这种路由协议在需要路由信息时,都经过一个路由发现阶段。当节点要发送数据包时,先以泛洪式广播路由请求包。当路径发现后或者所有可能的路径都查找完时这个阶段结束。接下来路由由维护阶段一直持续到这条路由不再需要或者目的地变成不可到达时。其中典型的协议有以下几个:

AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol)^[12]是一种基于 DSDV 的路由协议。它通过基于需求的机制提高了 DSDV 的效率。相对于其它同类路由协议,其优点是提供组播支持,而不足之处是只支持双向连接并且为每个源和目的节点只维持一条路由。

DSR (Dynamic Source Routing)^[13]使用源路由而不是逐跳路由机制。这个协议主要包括两个阶段:路由发现阶段和路由维护阶段。当节点需要发送数据包而发现没有到目的地的路由时就广播路由请求信息。当目标节点或含有到目的地有效路由的中间节点收到此信息就会返回应答信息。应答信息可以按原路逆向返回也可以另寻新路返回。源节点在每个数据包的头部包含了所需路由信息后发送包。此协议的优点就是中间节点不需要保存任何路由信息,因为路由信息已经包含在包的头部。DSR 不需要任何节点定期交换信息。其缺点就是当网络的规模较大时,包的头部包含大量的路由信息使得开销将很快增大而影响扩展性。

TORA (Temporally-Ordered Routing Algorithm)^[14]的关键点是把控制信息局限在拓扑改变节点周围很小的一个范围里。这个协议包括路由建立、路由维护、路由删除三个部分。在路由建立和路由维持阶段,每个节点通过请求/应答过程建立一个以源节点为根的有向无环图。方向是根据相邻节点相对于源节点的“高度”值来确定的。它的缺陷就是潜在的抖动现象会引起类似于“count-to-infinity”^[5]的稳定性问题。此外,其性能还依赖于网络的高度连通以提供所需的多条备选路径。

On demand 类协议讨论:相对于主动类协议,这类协议产生相对较少的路由控制信息开销。但其共同缺点就是获取路由会有相对较高的延时,因此不太适合于实时应用。由于路由是临时建立起来的,很难进行资源预留以便提供 QoS 服务。这类路由协议中一个很重要的环节就是选择路由的标准。目前多数协议采用的标准是最短路径,但这并不一定是最好的,也可以考虑其它标准。如 ABR^[15]选择相对稳定的路由,SSR^[16]选择信号强度高、稳定性好的路由。这样可减少因不稳定而重新建立路由的开销。另外一个很重要的考虑就是在源和目的节点间选择多条还是一条路由。研究表明^[17],如 DSR 那样选择多条路由能够有效提高路由协议的性能。实际上就是以存储空间来换取效率。目前已有不少研究利用多条路由提高现有的路由协议性能。其中很重要的两种思想就是文[18]所提的 Path Disjoin 方法和文[19]所提的 SMR (Split Multi-path Routing)机制。

3.3 杂路由协议

这种路由协议是在前两种协议的基础之上而来的。其设计思想就是同时采用主动和按需协议,发挥两者各自的优越性又尽量避免其各自的不足。采用主动协议是为了减少寻找路由的延时,另一方面使用按需的协议来减少路由控制信息开销。这类协议目前还不太多。其中典型的有以下几个:

ZRP (Zone Routing Protocol)^[20]的基本思想就是每个节

点预先定义一个以自己为中心,范围为几跳的区域。区域内的节点相互通讯时采用主动路由策略。需要进行区域间通讯时采用按需路由策略。当目标节点不在区域内时,路由请求包就通过区域边界点进行广播。这个路由协议把主动路由开销限制在区域内,而按需查询的开销仅限于选取的区域边界节点。这个协议的缺点就是性能依赖于区域半径参数。当网络节点密集而且移动速度快时,小区域半径较为合适。反之,大区域半径较好。

CEDAR (Core Extraction Distributed Ad Hoc Routing)^[21]协议是通过在网络中建立一个稳定的虚拟核心来扩散路由信息。为了建立一个稳定核心就必须尽量减少组成核心的节点数目。协议通过最小覆盖算法 MCDS 的近似算法将网络分成不同的域。每个域仅包含一个属于 MCDS 的主域节点。此节点收集网络路由信息并在 MCDS 中扩散,并以此来计算各节点间的最短路由。采用 MCDS 的优点就是连接非主域节点间的连接失效时,MCDS 可以充当备份路由。此外这个协议可以提供一定 QoS 支持。但是随网络规模增大路由更新引起的开销急剧增加而影响了协议的可扩展性。

杂交型协议讨论:这类协议的关键点是如何巧妙地结合主动和按需两类路由协议,达到取长补短的效果。这类协议的构成相对复杂一些。其关键点在于两种协议应用区域的划分。两种协议的适用环境不同,因此合理的划分方法应该随不同情况采用自适应的策略,协议的性质在主动和按需之间应随网络的具体环境变化可以自动调整。

3.4 全球定位系统(GPS)辅助的路由协议

这类协议的共同特点就是建立路由时利用 GPS 提供的有关节点位置信息更有效地朝着目的节点方向寻找路由,这就减少了漫无目的地搜索路由带来的开销。这类协议中典型的有以下几个:

DREAM (Distance Routing Effect Algorithm For Mobility)^[22]的特点就是距离效应和移动速率两个规则的运用。距离效应就是两个节点相距越远,它们的移动速度相互看起来就越慢。节点移动速度越快,其最新位置信息的发布频率就越高。每个节点维持一个包含所有节点位置信息的表。根据上述规则每个节点定期广播控制信息来通知其它节点自己的位置信息。发送数据包时,源节点根据表中位置信息,选择一些朝着目的地方向的节点作为中转节点并包含它们于数据包的头部。中转节点继续同样地工作直到包到达目的地。DREAM 对于节点移动速度表现出很好的强壮性,但是在重负荷环境下效果较差。

LAR(Location-Aided Routing)^[23]的工作方式和 DSR 非常相似。区别之处就是它利用了 GPS 提供的信息执行了一种“有限泛洪”路由请求方式。需要发送路由请求包时,源节点根据目标节点的位置和速度信息计算一个区域作为请求范围并附之于包头。只有位于请求范围内的节点才可进行路由请求信息的转发,从而减小了发现路由的开销。

同类的协议还有 GPSR^[24]、GLS^[25]、GeoCast^[26]等。这里不再赘述。GPS 辅助类协议讨论:

利用 GPS 提供的节点位置信息可以减少漫无目的地泛洪方式广播造成的开销。代价是交换节点坐标信息的开销。其缺点是依赖于 GPS 可能限制其应用范围。这类协议的关键点是如何有效利用 GPS 提供的位置信息又能尽量减小交换位置信息带来的开销,以免得不偿失。

4 路由协议的加强

4.1 路由协议的加强策略

Ad Hoc 网络环境下理想的路由协议应该满足以下几个要求:分布式运行、提供无环保障、对单向连接的支持、能够节省能源、具有安全性保障、良好的扩展性、提供 QoS 支持。为了达到这些要求有以下几个关键问题需要妥善解决。

(1)安全性保障 在 Ad Hoc 网络环境中,节点协同工作对于路由协议的正常运行非常关键。任何恶意的节点都可以破坏路由协议的有效性。如篡改路由信息、只接收而不转发数据包。因此安全的路由协议必须能有效地检测出恶意的节点并报告这些事件,维持一套规则来反映其它节点的历史行为^[27]。根据节点的表现情况,选择可信度较高的节点而避开一些恶意节点来建立路由。鉴别恶意节点就要依靠数字签名等机制。由于 Ad Hoc 网络路由协议的分布式要求,传统的依靠集中式 CA 为基础的公钥/私钥安全机制已经不太适应,因此分布式安全机制才是有效的出路。

(2)路由协议的可扩展性 增强可扩展性的关键就是在大规模网络环境中如何降低路由协议控制信息的开销。在这方面有很多措施可以考虑。如 FSR 通过选择性地调整路由更新频率。OLSR 通过 MPR^[28]减小了控制信息包的尺寸及转发这些包的节点数量。TBRPF 通过限制路由更新包在叶节点传播且在源树(source tree)中只报告差别信息。此外,群和层次拓扑结构的运用也可有效减小路由表大小和路由信息处理开销。CGSR、HSR、ZRP、LANMAR 只保存近处节点的路由条目,CGSR 和 HSR 通过群首以层次方式扩散路由信息及数据转发。LANMAR 对远处的组只保存一个界标(landmark)节点条目而大大减小了路由表的大小。此外,巧妙地利用 GPS 也可以提高协议扩展性。

(3)对 QoS 的支持 QoS 的支持主要是指能够保证用户所规定的一些服务特性,如延迟、带宽、丢包率等。Ad Hoc 网络提供 QoS 支持比较困难,但仍可以从多层次考虑来解决。路由协议可以结合 MAC 层的 DCF 函数来提供区分服务^[29]、最小速率保证等。考虑设计 QoS 感知的路由协议,也就是在期望的 QoS 基础之上考虑最小搜索、距离、流量状况来选择路由。在泛洪式路由发现阶段结合 QoS 要求信息,如带宽、延迟等,直接终止一些不满足要求的路由搜索。在基于 TDMA 系统的 MANET 中可以通过一些带宽计算方法在源和目的节点之间进行资源预留以提供 QoS 支持。此外,在源和目的节点之间建立多条路由也可以更有效地提高对 QoS 的支持。

(4)路由协议的自适应性 如前文所述的两种(主动和按需)路由协议各有所长,但它们都难于理想地适应各种不同网络环境,因此考虑改造这两种协议使其具有一些对方的优点将是一条出路。例如减小主动协议的开销。一方面可以考虑根据网络当前的负荷状况只维持到活跃节点的路由来减小更新开销。另一方面根据网络的移动速度自适应地调节局部和全局路由信息更新频率。为了减小按需协议的路由延时可以考虑让其自适应地保存一些和最近经常活跃节点相关的路由信息。此外,如何结合二者以取得路由开销和路由延时平衡的杂交协议是一个不错的策略。如前文所述 ZRP 的不足之处也可以考虑采用自适应的策略调节区域半径来改进。根据节点移动速度或平均连接持续时间等标准采用自适应的策略让杂交协议的性质在主动和按需之间动态地调整。当网络比较稀疏、节点移动较慢时使其趋向于主动协议。反之,则使其趋向于按

需协议。

4.2 一个新型路由协议框架

在前面对路由协议及其策略的分析与探讨基础之上,我们提出一个新型路由协议框架的构想。这个路由协议是基于骨干 backbone^[30]思想之上具有高度自适应性的杂交路由协议。首先对文[38]构造骨干网的约束条件加以放宽。使非骨干节点距骨干节点的距离由仅限于一跳改变为可以相距多跳。根据网络节点的移动速度、密度等使骨干节点和非骨干节点的身分可以改变。其中网络节点的密度可以根据邻居节点的数量来判断。节点移动速度可以根据邻居节点的增加或减少速率、连接的断开频率、连接的平均持续时间等来判断。骨干网的大小可以动态变化。在骨干网中采用可以提供一定 QoS 支持的主动路由协议,而在非骨干网中采用按需路由协议。这样新协议的性质可以在主动和按需之间动态调整。为了减少主动协议的开销,根据网络拓扑的变化速度自适应地调节更新频率。为了提供 QoS,我们结合 MAC 层协议和现有的带宽计算方法提供最小速率保障。结合令牌桶机制和 IEEE 802.11 的 DCF 函数提供区分服务。对于顺从流(conformant traffic)采用较小的 DIFS,而对非顺从流采用较大的 DIFS。此外,计划在协议中嵌入一种分布式认证机制来区分恶意节点以保障其安全性。

结束语 目前关于 Ad Hoc 网络的研究非常活跃,尽管学者们已经提出了大量的路由协议,但还有很多问题都有待于进一步研究,主要有以下几点:

(1)安全的路由协议:目前提出的路由协议基本上都没有考虑安全性,但 Ad Hoc 网络由于自身特性更容易遭到攻击。现在能够适应于 Ad Hoc 网络环境的分布式安全机制还很不成熟。

(2)协议节能策略:节点能量的消耗不仅考虑接收和发送数据,而且节点在听和空闲时的能量耗费也不可忽视。让节点在必要时进入睡眠状态以节省能量耗费的策略也很有意义。

(3)提供 QoS 的路由协议:Ad Hoc 网络环境下拓扑结构高度动态变化给 QoS 支持带来很大困难。如何结合 MAC 层协议以减轻或消除拓扑变化对 QoS 的影响也有待于继续研究。

参考文献

- Corson S, Macker J. Mobile Ad Hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issue And Evaluation Considerations. RFC 2501, Jan. 1999
- Royer E M, Toh C-K. A Review Of Current Routing Protocols For Ad Hoc Mobile Wireless Networks. IEEE Personal Communications Magazine, April, 1999. 46~55
- Perkins C E, Bhagwat P. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) For Mobile Computers. Computer Communication Review, Oct. 1994. 234~244
- Murthy S, Garcia J J. An Efficient Routing Protocol For Wireless Networks. ACM J. Special issue on routing in mobile communication networks, Oct. 1996. 183~197
- Tanenbaum A S. Computer Networks[M] 3rd Ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1996. 357~358
- Chiang C-C, Gerla M. Routing And Multicast In Multihop, Mobile Wireless Networks. In: Proc. IEEE ICUPC'97, San Diego, CA. Oct. 1997. 197~211
- Pei G, Gerla M. Fisheye State Routing: A Routing Scheme For Ad Hoc Wireless Networks. In: Proc. IEEE ICC'00 New Orleans, LA, June 2000. 70~74
- Pei G, Gerla M. A Wireless Hierarchical Routing Protocol With Group Mobility. In: Proc. IEEE WCNC'99 New Orleans, LA, Sept. 1999
- Jacquet P, Muhlethaler P. Optimized Link State Routing Protocol. draft-ietf-manet-olsr05.txt internet draft, IETF MANET working group, Nov. 2000
- Pei G, Gerla M. LANMAR: Landmark Routing For Large Ad Hoc Wireless Networks With Group Mobility. IEEE In: Proc. MobiHoc'00 Boston MA, Aug. 2000. 11~18
- Ogier R G, Templin F L. Topology Broadcast Based On Reverse-Path Forwarding. draft-ietf-manet-tbrpf-05.txt, internet draft MANET working group, Mar. 2002
- Perkins C E, Royer E M. Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing. IEEE In: Proc. WMCSA'99, New Orleans, LA, Feb. 1999. 90~100
- Johnson D B, Maltz D A. Dynamic Source Routing Protocol In Ad Hoc Wireless Networks. Mobile Computing, T. Imielinski, Eds., Kluwer, 1996. 153~181
- Park V D, Corson M S. A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm For Mobile Wireless Networks. IEEE In: Proc. INFOCOM'97 Apr. 1997
- Toh C-K. A Novel Distributed Routing Protocol To Support Ad Hoc Mobile Computing. IEEE Proc. 15th Annual Int'l. Phoenix Conf. Comp. And Commun., Mar. 1996. 480~486
- Dube R, et al. Signal Stability Based Adaptive Routing For Ad Hoc Mobile Networks. IEEE. Personal Communication. Feb. 1997. 36~45
- Nasipuri A, Castaneda R. Performance Of Multipath Routing For On-Demand Protocols In Mobile Ad Hoc Networks. ACM Mobile Networks And Applications, 2001, 6(4): 339~349
- Pearlman M R, Haas Z J. On The Impact Of Alternate Path Routing For Load Balancing In Mobile Ad Hoc Networks. ACM. In: Proc. MobiHoc'00, 2000. 3~10
- Lee S J, Gerla M. Split Multipath Routing With Maximally Disjoint Paths In Ad Hoc Networks. IEEE In: Proc. ICC'01, 2001. 3201~3205
- Hass Z J, Pearlman M R. The Performance Of Query Control Schemes For Zone Routing Protocol. ACM/IEEE Transactions On Networking, 2001, 9(4): 427~438
- Sivakumar R, et al. CEDAR: a core-extraction distributed ad hoc routing algorithm. IEEE INFOCOM'99 New York, 1999. 202~209
- Basagni S, Chlamtac I, Syrotiuk V R. A Distance Routing Effect Algorithm For Mobility. ACM In: Proc. MobiCom'98, 1998. 76~84
- Ko Y-B, Vaidya N H. Location-Aided Routing In Mobile Ad Hoc Networks. ACM. In: Proc. MobiCom'98 p. 66~75
- Karp B, Kung H T. GPRS: Greedy Perimeter Stateless Routing For Mobile Wireless Networks. ACM. In: Proc. MobiCom'00. Boston, MA, 2000. 243~254
- Li J, Jannotti J, De Gouto D S J. A Scalable Location Service For Geographic Ad Hoc Routing. ACM. In: Proc. MobiCom'00, Boston, MA, Aug. 2000. 120~130
- Navas J C, Imielinski T. geographic addressing and routing. ACM. In: Proc. MobiCom'97 Budapest, Hungary, Sep. 1997. 26~30
- Matri S, Guili T J. Mitigating Routing Misbehavior In Mobile Ad Hoc Networks. ACM. In: Proc. MobiCom'00, BA, Massachusetts, Aug. 2000. 255~265
- Qayyum A, Viennot L. Multipoint Relaying: An Efficient Technique For Flooding In Mobile Wireless Networks; [INRIA research report RR-3898]. 2000
- Imad A, Castelluccia C. Differentiation mechanisms for IEEE 802.11. IEEE In: Proc. INFOCOM'01 Anchorage, Alaska April 2001. 209~218
- Kozat U C, Kondyliou G, Ryu B, et al. Virtual dynamic backbone for mobile ad hoc networks. IEEE In: Proc. ICC'01 Helsinki, Finland, Jun. 2001. 250~255