

DOI: 10.7652/xjtuxb201602002

一种新型的半固定地理路由

李琳琪, 杨新宇

(西安交通大学计算机科学与技术系, 710049, 西安)

摘要: 针对地理位置路由协议中逐跳决策造成的时延以及路由局部化问题,提出了一种基于期望传输时间的半固定路由方法。该方法以虚拟邻居节点集的方式扩展节点传输半径,以映射的方式选择转发节点与虚拟邻居节点的路由,减少了路由选择时间,并以边界节点集的方式解决网络中的局部化问题。半固定路由表形成时,以期望传输时间作为衡量参数,有效的对链路进行了优选,为数据传输提供了更优的链路条件。该算法省略了中间节点的路由选择时间,减少了协议转换和尝试寻路造成的时间开销,使得网络的延迟状况得到了很大程度的改善。仿真结果表明,该算法可以有效应对路由局部化问题,降低时延,提升网络性能。

关键词: 期望传输时间;时延;半固定路由

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2016)02-0007-06

A Novel Semi-Permanent Geographic Routing

LI Linqi, YANG Xinyu

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

Abstract: An ETT (expected transmission time)-based semi-permanent geographic routing algorithm (ESGR) is proposed to solve the localization problem and time delay caused by hop by hop route. The algorithm first establishes a set of virtual neighbor nodes, then chooses the forwarding node using a greedy method and maps links from the semi-permanent route table. ESGR maps boundary node set to boundary link set and the localization problem is solved. This saves time of protocol switching and path searching. Once the semi-permanent routing table is formulated, the ETT is used as a measure to optimize the links, so that a better link condition for data transmission is provided. Simulation results show that ESGR effectively deals with the localization problem, reduces the delay and improves the network performance.

Keywords: expected transmission time; delay; semi-permanent routing

传统的基于位置的路由协议,通常在数据包到达某一节点后才决定下一跳的节点,会造成数据传输实时性上的损失。在网络存在空旷域的情况下,基于位置信息的贪婪路由方式会面临局部化问题,需要转为其他路由方式,这种转换也会造成数据传输

的延迟。在救灾网络中,受灾害破坏影响形成很多不可达区域,从而造成网络拓扑中存在较多的空旷域,数据传输延迟则更为明显。另一方面,因为贪婪方式通常只考虑跳数和距离而忽略链路质量,链路的质量往往受到环境等因素的影响,在较差的链

路上传递消息,可能会导致消息被重复传几次才能成功,甚至可能传输失败,这必然造成不小的延迟。为了解决这些问题,研究人员提出很多方案,早期的例如文献[1]中使用丢弃数据分组的方法;另一种方式是避免局部化,例如文献[2]是标记空旷域,提前转发;文献[3]使用椭圆绕洞方法。在路径的优化方面,文献[4]对数据敏感程度加以区分,使用不同路径传输;文献[5-6]是从时延角度出发的路由优化的方法;文献[7]依据期望传输次数和相对跳数来按照贪婪方式进行路由;文献[8]使用了基于蚁群算法的路由方式;文献[9]利用社会感知模型提高成功率;文献[10]利用交通信息对路由方式进行优化。

本文提出了基于期望传输时间(expected transmission time, ETT)的贪婪半固定路由方法(semi-permanent geographic routing algorithm, ESGR),将两跳的链路以固定路由方式与虚拟邻居节点集中的节点一一映射,省略了中间节点的路由选择时间。算法以期望传输时间作为固定路由的优选参考因素,通过使用优选链路来降低重传的概率,并以空旷域边缘节点集合映射候选静态路由的方式解决网络局部化的问题。通过以上方式减少了协议转换和尝试寻路造成的时间开销,使得网络的延迟状况得到了改善。

1 协议设计

ESGR 协议包含以下基本假设:①算法不涉及位置服务部分,认为所有节点都知道自身位置信息,源发节点也知道目的节点位置信息;②网络的移动性属于中低速,节点的相对位置可以保持较长的一段时间;③网络拓扑基于二维空间,网络密度要求不高,可以存在空旷域,但是网络应是可连通的。因为该算法针对网络延迟的改善,如果存在没有可连接通路的情况,会影响算法性能尤其是延迟状况的正常评估,因此,在设计网络环境的时候,要求网络是可连通的。

1.1 协议思想

ESGR 协议是在贪婪转发算法的基础上,扩展了节点的相对位置信息,利用节点移动的局部性和移动性不高的特点,以分布式的方式在各个节点上保存了相应的邻居及两跳邻居节点的信息,建立虚拟邻居节点集,并依据 ETT 对当前节点到虚拟邻居节点的链路进行优选。虚拟邻居节点唯一对应一条从当前节点到自身的优质传输链路。数据包到达当前节点后,通过贪婪规则在虚拟邻居节点集中选

择下一跳转发的节点,数据通过映射的路由转发。协议分为邻居信息采集和数据传输过程两部分。

协议采用信标发送的机制,当前节点周期性地向邻居节点发送信标信号,该信号中包含节点及其所有邻居节点信息,以及当前节点到邻居节点的链路 ETT 值,当前节点根据所收到信标形成虚拟邻居节点集以及对应的半固定路由集。

数据传输过程即协议对数据业务的传输处理过程。由源节点发出数据包,根据贪婪规则,在虚拟邻居节点集中选定距离目的节点最近的节点,从半固定路由表中映射对应的路由后转发。收到消息的中间节点检查自身是否为目的节点,以及所有邻居节点中是否存在目的节点。若存在则直接发送数据,否则继续根据贪婪规则选择距离目标最近的节点和路由进行数据转发,直至消息到达目的节点。

1.2 邻居信息采集

邻居信息采集是本协议的重要组成部分,信息采集过程通过周期性的信标信号来完成,各个节点通过信标信号中的发信节点及其邻居节点信息来完成自身信息的更新。关键问题是虚拟邻居节点集和半固定路由表的建立及空旷域引起的局部化问题的处理方式。

为了更好地选择节点,降低因链路质量带来的时间开销,算法中引入了期望传输时间(ETT)的概念。当链路的 ETT 大于等于给定阈值 T 时,认为该链路质量太差,不适合于实时传输,不建议采用该条链路。在发送信标时,信标中除了自身信息外也携带邻居节点信息及对应的链路 ETT 值。

该算法中有 3 个常规集合,第 1 个集合为邻居节点集,该集合以当前节点的所有一跳邻居节点作为元素。这里假设当前节点为 S , S 的邻居集合为 A ,初始情况下 A 为空集,每当 S 收到邻居节点的信标,检查当前节点与该邻居节点链路的 ETT 值,如该值小于阈值 T ,可将该邻居节点作为一个元素添加到 A 中,否则丢弃该信标。对于已经在集合中的元素,在一段时间内,如没收到该元素发来的信标,则表示该元素所标识的节点已离开当前节点的通信范围,不再是其邻居节点,因此将该节点从集合中剔除,由此动态地形成 S 的邻居节点集 A ,称其为 S 的基本集。

第 2 个集合是当前节点两跳距离的节点集合,即虚拟邻居节点集。假设该集合为 B ,初始情况下 B 为空集,当 S 收到邻居节点的信标,将新收到的邻居节点的基本集剔除 S 自身及其基本集的元素。

计算链路期望,即从节点 S 出发,经过此邻居节点,到其所有基本集内节点的链路的 ETT 值,如果该值小于阈值 T ,则忽略该节点,反之将该节点加入虚拟邻居节点集 B 中。对于已经在集合中的元素,在一段时间内,如果没有关于该元素更新信息的信标,则表示该元素所标识的节点已经不在当前节点的两跳范围,不再是其邻居节点,因此将该节点从集合中剔除,最终形成虚拟邻居节点集。

第 3 个集合是当前节点到其虚拟邻居节点的优选链路集,也就是前面提到的半固定路由表,它的生成是与虚拟邻居节点集同步的。假设这个集合为 L ,使得到达另一节点的多跳通路不止一条,同样在本算法中,尽管只是两跳的链路,因多个中间节点的存在,也会存在多种可能。算法依据 ETT 值对链路质量进行优选,对于多条通过不同节点到达同一虚拟邻居节点的链路,选择 ETT 值最小的一条,将其路径信息保存并加入优选链路集。虚拟邻居节点集 B 与优选链路集 L 之间存在着——映射关系,保证了在实际的数据传输过程中,根据贪婪算法选出虚拟邻居节点后,对应的优质链路也选定。

实际的网络中空旷域是不可避免的,空旷域带来的局部化问题是基于位置的路由算法必须要面对的一个重要问题。本算法中同样采用了节点集映射链路的思想,针对空旷域,如果当前节点发现周围存在空旷域,则根据右手定理和左手定理同时进行探测。由于空旷域的不确定性,考虑到网络的移动性和开销,探测结束以链路不超过 N 跳以及链路终点(探测点自身)到达为止,每探测到一个边界节点,将该节点加入边界节点集 B_n ,同时将到达该节点的链路保存于边界链路集 L_n 中,如果集合中已有该节点,则根据到该节点不同的链路对应的不同 ETT 值选择更优的链路保存于边界链路集中,同时剔除相应的另一条链路,从而保证集合中的链式是相对更优的选择。

1.3 数据传输过程

本协议的数据传输过程也采用了地理位置路由常用的贪婪方式,即选择下一跳节点时的规则是选择距离目的节点最近的节点,选择的范围就是邻居节点集,目的是尽量选出跳数最少的路由,并使用序列号机制防止在边界转发时产生路由环路。具体过程如下。

步骤 1 源节点 S 发送数据包,首先检查邻居节点集中是否存在目的节点,如果是,根据优选链路集表选定路径,直接将数据发往目的节点,传输结束,否

则选择邻居节点集中距离目的节点最近的节点,并根据优选链路集中对应的路径发送数据。

步骤 2 中间节点接收到数据包后,检查自身是否为目的节点,以及邻居节点集中是否存在目的节点,如存在,根据优选链路集选定路径,直接将数据发往目的节点,传输结束,否则转至步骤 3。

步骤 3 检查虚拟邻居节点集。根据目的节点位置,在虚拟邻居节点集中选择距离目的节点最近的一个虚拟邻居节点,并检查该节点是否在路由序列之中,如在则忽略该节点重新选择,直到选出不在路由序列之中的的邻居节点为止。若存在局部化的问题,转入步骤 4,否则根据该节点映射在优选链路集中的路由信息,进行数据的传输。本步骤是中间节点在不存在局部化问题时的业务处理方式。

步骤 4 根据目的节点位置,在邻居集中选择距离目的节点最近的节点,并检查该节点是否在路由序列之中,如在则忽略该节点重新选择,直到选出不在路由序列之中的的邻居节点为止。若存在局部化的问题,转入步骤 5,否则直接向该邻居节点发送数据,该节点收到数据包后,重复步骤 2 和步骤 3 直到数据到达目的节点为止。

步骤 5 根据目的节点位置,在边界节点集中进行选择,选择该集中距离目的节点最近的节点,如果仍然没有,则选择边界链路集中最长的一条链路,检查是否出现环路,当出现闭环时,丢弃该数据包,否则进行传输,到达链路最末端后,重复步骤 2 和步骤 3 直到数据到达目的节点为止。

算法选择由两跳路由形成的固定路由表是因为如果选择更多节点势必造成数据链路越来越长,灵活性差,对节点移动会更敏感,增加对网络拓扑的依赖性,而且发送和接收节点相同的链路数目也会呈几何级数增长,需要更大的计算开销,信标中所携带的内容也会急剧增加,抢占带宽,不仅浪费资源,也会增加控制开销,因此选择有一个中间节点的两跳链路为佳。

2 协议分析

2.1 ESGR 协议正确性分析

协议采用基于地理位置的贪婪转发规则,数据包的传输是趋向目的节点的方向进行,每一次数据转发都更接近目的节点,同时更远离源节点,位置的物理位移决定了消息传递的单向性,从而防止了路由环路的产生。对于空旷域的处理过程中,通过规定最长链路跳数以及序列号机制,保证通过边界传

输时不会产生路由环路。保证协议正确性的另一个条件是可以找到到达目的节点的路径,保证数据成功到达目的节点。这个条件可以从网络存在空旷域和不存在空旷域两种场景分析。

网络中不存在空旷域时,因为网络是可连通的,又因为邻居节点与路由是一一映射关系,所以对任意 i ,如果目的节点 $D \in A_i \cup B_i$,则存在 l_i 为节点 i 到目的节点的路径。如果 $D \notin A_i \cup B_i$ 则存在 $n (n \in A \cup B)$,使得 $d_n < d_i$,所以存在 l 为下一跳路径。 A_i 、 B_i 分别为节点 i 的邻居和虚拟邻居集, d_i 表示节点 i 到目的节点的距离。

网络中存在空旷域时,可以分成目的节点在空旷域内、目的节点在空旷域边界上以及目的节点在空旷域外这3种情况。

根据网络连通性,对任意 $i, j (i, j \in B_n)$,存在 l 使得节点 i 和节点 j 连通,即边界上任意两个节点之间都是可达的。 B_n 为空旷域的所有边界节点集。

目的节点在空旷域内,这种情况下目的节点是不可达的,遇到这种情况只能放弃传输,或等节点移动出空旷域后再进行传输。因协议的前提是网络是可连通的,所以这种情况暂不做考虑。目的节点在空旷域的边界上时,对任意 $i (i \in B_n)$,存在 l_i 。目的节点在空旷域之外时,当节点 i 遭遇局部化问题时,存在 $n (n \in B_n)$,使得 $d_n < d_i$,又因为 $i \in B_n, n \in B_n$,所以存在 l 使得节点 i 和节点 n 连通。此时可以将空旷域看做节点 n ,等同于不存在空旷域的场景,必然存在到达目的节点的路径。

由此可见,在所有场景下,协议成功找到传输路径的条件也可满足,从而保证了协议的正确性。

2.2 ESGR 协议开销分析

与传统的 GPSR 协议类似,本协议也采用了简单的信标发送机制,即利用网络的广播特性,周期性的向邻居节点发送信标信号。为了降低多个邻居节点发送信标信号的冲突概率,发射间隔使用随机选取的方式。信标携带的内容不仅仅是简单的邻居信息,而是包含了邻居的邻居节点信息以及之间链路的 ETT 值。增加了数据包的信息量,开销必然有所增大,但因协议仅仅依赖两跳范围内的节点信息,而不是所有节点的相关信息,信标发送的范围集中在两跳范围内,局部性的信标使得控制信息开销不会随着网络规模增加呈几何式的增长,而是保持基本不变,不会造成全网的数据激增。基于位置的转发方式,分布式的路由设计,使得协议对网络规模不敏感,保证了路由协议良好的可扩展性。本算法中,

节点与路由是一一映射的关系,选定转发节点后,相应的路由也对应出来,无需发起路由探索,节点选择的时间复杂度为 $O(n)$,其中 n 为虚拟邻居节点数。

时间开销为数据包传输所花费的时间

$$D = D_s + D_t \quad (1)$$

式中: D_s 为路由选择时间; D_t 为数据传输时间。

路由选择时间为在不考虑优选链路的情况下,假设从源节点到目的节点需要 n 跳,每一跳的平均路由选择时间为 t_s 。传统的贪婪算法的路由选择时间 $D_s = nt_s$ 。本算法中转发节点与虚拟邻居节点之间的路由采用映射方式,这段路径的选路时间可以忽略,因此整条链路的路由选择时间 D'_s 应在 $[(n/2)t_s, nt_s]$ 区间内,很明显 $D'_s \leq D_s (1)$ 。

数据传输时间,假设传统贪婪算法中,数据传输时间为 D_t ,数据包从源节点到目的节点需要经过 n 次路由选择。本算法中,数据传输时间为 D'_t ,从源节点到目的节点需要 m 次路由选择,即数据包经过 m 次半固定两跳链路到达目的点。从算法中可知,一个半固定两跳链路的传输的距离为 L_h ,那么 $L_h \geq r$, r 为节点的传输半径,而传统的贪婪算法的一跳传输的距离为 L_t ,那么 $L_t \leq r$,因此有 $L_t < L_h$ 。传输距离已定的情况下,根据贪婪规则可以得出 $m < n$,从每一个半固定两跳链路的期望传输时间为 h_i ,传统算法中任意一跳的期望传输时间为 t 。如果 $t < T$,那么这段链路必然是被本算法选中过的链路,如出现在半固定路由中,那么时间是相等的,反之则必然是存在期望传输时间更短更优的链路;如果 $t > T$,那么 $h_i < t$,所以整个链路的传输时间小于传统算法,即 $D'_t < D_t$ 。结合前面,可以得到 $D > D'$ 。

从以上分析可以看到,基于 ETT 对链路的优化选择,使用映射代替逐跳计算,ESGR 在时延控制方面的优势还是比较明显的。网络的吞吐量期望与 ETT 成反比,因此算法对网络的吞吐量提升也有较好的效果。

3 仿真实验

3.1 环境与参数设置

实验仿真环境为 OPNET10.0,网络范围为 $2\,200\text{ m} \times 2\,200\text{ m}$,移动节点 200 个,移动模型为 Waypoint,最大移动速度为 30 m/s 。手工设置一个空旷域,大小为 $100\text{ m} \times 200\text{ m}$ 。

3.2 实验结果及分析

图 1 给出了在不同节点运行速度下的丢包率,反映了随着节点运动速度的提升,协议性能的变化,

体现的是吞吐量的变化。如图所示,在节点基本静止时,各个协议的丢包率都较低,随着节点移动速度逐渐增加,出现分化。当节点的运动速度到 30 m/s 后,丢包率分化更为明显,GPSR 与 ESGR 协议的丢包率相对变化较小,这是因为协议的路由过程只涉及局部的节点信息,合理的信标发送周期可以及时准确地提供所需路由信息。ESGR 协议的丢包率高于 GPSR 协议,这是由于 ESGR 协议采用了两跳路由,且在空旷域的时候,长路径更多一些,因而比 GPSR 协议对节点移动速度更加敏感。HAIR 协议因其机制原因,丢包率更高一些,而 TAR 协议因考虑了拓扑因素,对节点位置的准确性要求更高,随着节点速度提升,丢包率增加比较明显。

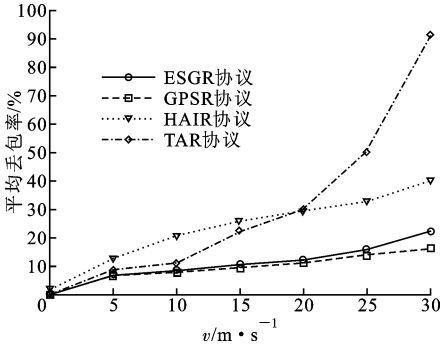


图 1 平均丢包率与节点速度的关系

图 2 对比了各个协议在不同节点移动速率的情况下的端到端时延。可以看到,节点静止的情况下,ESGR 的时延相对较小,比 GPSR 低大约 42%,而且随着节点的速率的增加,这种低时延的优势一直得到保持。TAR 因在将拓扑因素考虑进空旷域的处理上,因此时延也相对较低。随着节点移动速度增加,TAR 因其对拓扑的依赖,使得其端到端时延明显增加,而其他 3 个协议的变化较小。相比 GPSR,ESGR 的端到端时延增加的趋势更快一些,但仍比 GPSR 低 20%左右,可见 ESGR 在时延上的优势是相当显著的。

图 3 对比了数据包从源节点到目的节点传输的平均跳数。静止状态下,TAR 最优,ESGR 的平均跳数比 GPSR 略高,这是因为 ESGR 选取质量更优的链路,在物理上比 GPSR 所走的路径距离更长。随着节点速度的提升,TAR 的优势降低,其他 3 个协议的平均跳数增幅都不大,说明这 3 个局部化的协议在低网络拓扑变换的情况下,都能较好运行。在具体的实验过程中发现,除了因为选取优质链路造成跳数值增加外,实际在处理空旷域时,因为局部化的问题,当节点的边界节点集中仍没有可选节点,

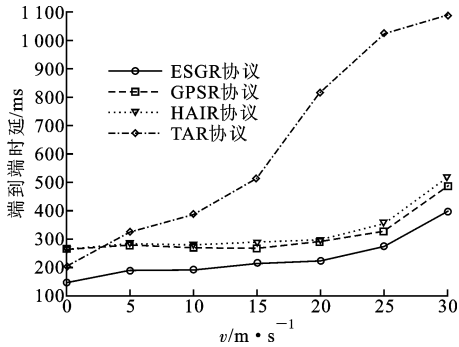


图 2 端到端时延与节点速度的关系

即仍然面临局部化问题时,会选择最远的节点。这样的处理方式并不完美,在一些特殊的拓扑情况下,会造成路径的迂回,从而造成跳数值增加,但是此缺陷可以被更好的路径质量和更低的时延所弥补,因而不会对协议性能造成太大的影响。

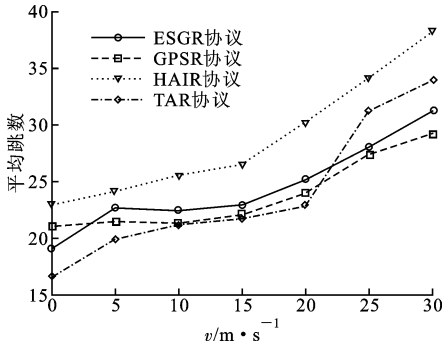


图 3 平均跳数与节点速度的关系

通过以上仿真实验可以看到,在节点速度变大、网络动态性增加的情况下,ESGR 协议无论是在丢包率还是端到端时延方面都表现出较好的性能,尤其是在降低时延方面效果显著,具有很高的鲁棒性,更能满足网络对实时数据传输的需求。

4 结 论

ESGR 协议利用节点移动的局部性和相对稳定性,以映射的方式选择转发节点与虚拟邻居节点的路由,减少了路由选择时间,以虚拟的方式扩展了节点传输半径,并以边界节点集的方式解决网络中的局部化问题,在形成半固定路由表时,以 ETT 作为衡量参数,对链路进行了有效的优选,为数据传输提供了更优的链路选择,从而达到降低网络时延、提升网络性能的目的。仿真结果表明,ESGR 协议相比目前的方法在时延控制等方面有 20% 以上的显著提升,更能适应存在空旷域的网络情况,满足网络的实时性需求。

参考文献:

- [1] STOJMENOVIC I, LIN X. GEDIR: loop-free location based routing in wireless networks [C]// Proceedings of the 1999 International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems. Cambridge, MA, USA: ACTA Press, 1999: 1025-1028.
- [2] CADGER F, CURRAN K, SANTOS J, et al. A survey of geographical routing in wireless ad hoc networks [J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2013, 15(2): 621-653.
- [3] YU Fucui, PARK S, TIAN Ye, et al. Efficient hole detour scheme for geographic routing in wireless sensor networks [C]// Proceedings of the 2008 IEEE Vehicular Technology Conference. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 153-157.
- [4] 梁庆伟, 姚道远, 巩思亮. 一种保障时延能量高效的无线传感器网络路由协议 [J]. 西安交通大学学报, 2012, 46(6): 48-52.
LIANG Qingwei, YAO Daoyuan, GONG Siliang. A delay-guaranteed energy-efficient wireless sensor network routing protocol [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2012, 46(6): 48-52.
- [5] LEE J H. A new routing scheme to reduce traffic in large scale mobile ad hoc networks through selective on-demand method [J]. Wireless Networks, 2014, 20(5): 1067-1083.
- [6] ALSAQOUR R, ABDELHAQ M, SAEED R, et al. Dynamic packet beaconing for GPSR mobile ad hoc position-based routing protocol using fuzzy logic [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2015, 47: 32-46.
- [7] HUANG Pei, WANG Chen, XIAO Li. Improving end-to-end routing performance of greedy forwarding in sensor networks [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2011, 23(3): 556-563.
- [8] SINGH G, KUMAR N, VERMA A K. OANTALG: an orientation based ant colony algorithm for mobile Ad Hoc networks [J]. Wireless Personal Communications, 2014, 77(3): 1859-1884.
- [9] 陈家旭, 唐亚哲, 胡成臣, 等. 延迟容忍网络中基于地点偏好的社会感知多播路由协议设计 [J]. 西安交通大学学报, 2014, 48(6): 13-18.
CHEN Jiaxu, TANG Yazhe, HU Chengchen, et al. Design of a social aware multicast routing protocol based on location preference in delay tolerant networks [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2014, 48(6): 13-18.
- [10] TIAN Rui, ZHANG Baoxian, ZHENG Jun. A new distributed routing protocol using partial traffic information for vehicular ad hoc networks [J]. Wireless Networks, 2014, 20(6): 1627-1637.

[本刊相关文献链接]

- 李季碧, 邓科, 任智, 等. 机会网络中高效低时延多摆渡节点路由算法. 2015, 49(4): 91-97. [doi:10.7652/xjtuxb201504015]
- 李季碧, 李宾, 任智, 等. 自适应动态功率控制的机会网络节能高效路由算法. 2014, 48(12): 49-56. [doi:10.7652/xjtuxb201412008]
- 戴慧珺, 曲桦, 赵季红. 利用非精确参数的移动互联网业务感知多目标优化 QoS 路由算法. 2014, 48(2): 86-92. [doi:10.7652/xjtuxb201402015]
- 陈家旭, 唐亚哲, 宁京宣, 等. 移动自组网中节点兴趣导向的人类运动模型. 2013, 47(12): 110-115. [doi:10.7652/xjtuxb201312019]
- 汪志伟, 曹建福, 郑辑光. 一种面向分簇无线传感器网络的多信道跨层协议. 2013, 47(6): 61-67. [doi:10.7652/xjtuxb201306011]
- 李琳琪, 杨新宇, 刘蔚. 高动态网络的自决策式地理机会主义路由. 2013, 47(2): 7-13. [doi:10.7652/xjtuxb201302002]
- 高昂, 李增智, 赵季中. 用于无线自组织网络的属性加密算法. 2012, 46(8): 33-36. [doi:10.7652/xjtuxb201208006]
- 梁庆伟, 姚道远, 巩思亮. 一种保障时延能量高效的无线传感器网络路由协议. 2012, 46(6): 48-52. [doi:10.7652/xjtuxb201206009]
- 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. [doi:10.7652/xjtuxb201204001]
- 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. [doi:10.7652/xjtuxb201104002]
- 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. [doi:10.7652/xjtuxb201108005]
- 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. [doi:10.7652/xjtuxb201008006]
- 张荣博, 曹建福. 利用蚁群优化的非均匀分簇无线传感器网络路由算法. 2010, 44(6): 33-38. [doi:10.7652/xjtuxb201006007]
- 全杰, 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. [doi:10.7652/xjtuxb201006008]

(编辑 武红江)