

Ad Hoc 移动网络多路径研究^{*}

陈跃泉 郭晓峰 曾庆凯 陈贵海

(南京大学软件新技术国家重点实验室 南京大学计算机科学与技术系 南京210093)

摘 要 在 Ad Hoc 移动网络中,由于结点的移动性,网络拓扑结构的易变性,路由成为研究的热点和难点。当前 Ad Hoc 路由协议一般都是单路径协议。然而由于多路径路由方式可以大大减少路由开销,提高数据传输率,减少网络拥塞,越来越多的研究表明,它将是未来 Ad Hoc 网络路由的主要方式。本文介绍了几种典型的多路径路由协议,并对这些多路径协议进行评价,对其性能进行比较,然后介绍多路径协议在 QoS、能源和安全方面的应用,最后指出未来多路径研究的关键问题。

关键词 Ad Hoc,单路径,多路径,被动路由,主动路由

Multipath Routing Research in Mobile Ad Hoc Networks

CHEN Yue-Quan GUO Xiao-Feng ZENG Qing-Kai CHEN Gui-Hai

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Department of Computer Science and Technology,
Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract In mobile Ad Hoc networks, routing becomes a challenge task due to the nodes mobility and topology changeability. At present, Ad Hoc network routing protocol is unipath, however, multipath routing can reduce routing overhead and improve delivery ratio. As a result, it can avoid some network congestion. In this paper we introduce some typical multipath routing protocols, evaluate these multipath protocols and compare their performance. Then we also introduce some multipath protocols which have better performance in QoS, energy and security. In the end, we point out some key problems for future research.

Keywords Ad hoc, Unipath, Multipath, Proactive routing, Reactive routing

1 引言

Ad Hoc 移动网络是一种具有多跳特性,无需任何基站支撑的无线自组织移动网络。由于无需基站支撑,因而 Ad Hoc 网络具有架设方便等优点,所以在未来移动通信领域,它将广泛应用于移动办公、移动漫游等方面,特别是在未来军事战争中,将是不可或缺的无线通信网络。因此 Ad Hoc 网络在未来无线通信中将有广阔的应用前景。

在 Ad Hoc 移动网络中,由于结点的自由移动和多跳特性,导致整个网络拓扑结构动态变化,路由问题因此成为 Ad Hoc 网络研究的热点和难点。现有 Ad Hoc 网络路由研究主要分成两类:被动路由(如 DSDV^[1], WRP^[2]等)和主动路由(DSR^[3], AODV^[4], TORA^[5]等方面)。其中被动路由是一种基于表驱动的传统路由方式,其结点通过周期性交换路由表来更新路由信息;主动路由是一种基于请求/响应方式的按需路由。这些路由方式都是单路径路由方式,它们具有路由简单,灵活性强等优点。

但是正是由于这些路由协议一般只使用单路径,无法有效地利用整个网络信息,因而导致路由开销比较大,延迟增加,流量低下等一些缺点,无法很好适应 Ad Hoc 移动网络要求,所以在最近 Ad Hoc 移动网络的研究中多路径路由得到广泛的关注。多路径方式可以较好地解决上述问题,减少路由和能源开销,降低网络延迟,提高网络流量、负载平衡和

安全性能,从而更好支持 QoS 要求。目前多路径方式一般都是对单路径方式的扩展,主要分成两大类:被动多路径路由协议(M-DSDV^[6])和主动多路径路由协议(SMR^[7], AOMDV^[8])。其中文[6]提出一种基于 DSDV 扩展的多路径路由方式 M-DSDV; SMR^[7]是基于 DSR 的一种扩展,它通过并发或替换方式利用2条(也可多条)来发送数据; AOMDV^[8]提出了一种基于 AODV 扩展的多路径路由方式,使之更加适应高速、动态网络环境。上面多路径方式主要针对提高网络负载平衡,减少网络延迟,提高数据流量。但多路径协议在 QoS、能源和安全等方面也有很大的优势。如文[9]提出一种利用选票方法来并行探测多条满足 QoS 路径;文[10]提出在多项式复杂度内找到多条结点不相交或者链路不相交能源消耗最小的路径;文[11]提出一种基于并行网络流自适应的多路径来避免恶意 DoS 攻击。因此,多路径路由协议具有广泛的应用前景。

本文第2节介绍几种典型单路径路由协议;第3节介绍目前几种比较典型的多路径路由协议,对这些多路径路由协议进行优缺点评价和性能比较;第4节介绍多路径协议在 QoS、能源和安全等方面的应用;最后是结论和未来展望。

2 传统 Ad Hoc 网络单路径路由

Ad Hoc 移动网络中单路径路由主要分成基于表驱动的被动路由^[12](如 DSDV^[1])和按需主动路由协议^[12](如

^{*}基金项目:国家高技术研究发展计划863课题(2002AA141090);国家973项目(No. 2002CB312002);教育部高效优秀青年教师奖。陈跃泉 硕士研究生,主要研究领域为 Ad Hoc 路由研究,网络安全;郭晓峰 硕士,主要研究领域为移动自组织网络,拥塞控制, P2P 研究;曾庆凯 教授,主要研究领域分布式计算,信息安全;陈贵海 博士,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机理论、网络计算等。

DSR^[3], AODV^[4]). 被动路由跟传统 Internet 网络中的距离矢量算法类似, 都是通过结点周期性交换路由表来实现的, 只是稍做修改使之用于 Ad Hoc 移动网络。主动路由一般都基于按需路由方式, 主动路由一般都是通过泛洪广播来实现, 主要分成路由发现和路由维护两个阶段。

2.1 DSDV 协议

DSDV^[1]是一种典型的基于 Bellman-Ford 算法表驱动的路由协议。通过结点周期性地跟相邻结点交换路由信息来获取网络有效信息。

2.1.1 协议介绍 每个结点都保存一个路由表, 该路由表包含一个到达目的结点列表、下一跳地址和一个用于区别路由更新的目的序列号, 以避免环路。该目的序列号用于表示发送到某个目的结点的包的次序, 如果序列号较高, 就认为该路由信息较新; 否则, 如果目的序列号相等, 就使用距离较短路由信息。并且每个结点周期性跟相邻结点交换路由表来更新路由, 使之获取网络信息。路由更新方式主要分为完全更新和增量式更新。

2.2 DSR 协议介绍

DSR^[3]是一种基于请求/响应的按需单路径主动路由方式。该协议主要分成路由发现和路由维护两个阶段。

2.2.1 路由发现 路由发现阶段主要由路由请求和路由响应两个阶段组成。

- 路由请求: 首先由源结点发起泛洪广播路由请求 RREQ, 中间结点收到 RREQ 后, 判断自身结点是否在 RREQ 路径里面, 以避免环路, 如果缓冲器中有到达目的结点的路径, 则直接从缓冲器反馈路径给源结点, 否则把自身地址添加到路由请求 RREQ 路径中, 并重新广播新的 RREQ, 并将重复到来的 RREQ 丢弃。

- 路由响应: 目的结点收到 RREQ, 启动路由响应 RREP, 并沿请求路径的逆向路径反馈回去, 中间结点收到路由响应 RREP 后, 提取有效路由信息添加到自身缓冲器中; 源结点收到 RREP 后, 把所需的路由信息添加到自身路由表中, 从而形成一条从源结点到目的结点的有效路径。

2.2.2 路由维护 DSR 协议通过 MAC 层检测到链路断开, 将判断营救位是否置位和是否有替换路径, 如果未置位且有替换路径, 那么将通过替换路径重新发送该数据包; 否则丢弃该数据包, 然后发送链路已断开路由错误 RREP 通知上游结点和源结点, 请求它们删除包含该链路的相应路由信息。

2.3 AODV 协议介绍

AODV 是在 DSDV 和 DSR 协议基础上建立起来的一种按需单路径路由协议。该协议使用基于距离矢量的算法, 并结合了 DSDV 和 DSR 的优点。

2.3.1 路由发现 AODV 的路由发现与 DSR 类似。首先由源结点发起路由请求 RREQ, 该路由请求包包含源结点、目的结点、上一跳地址、所跳次数和目的序列号, 其中目的序列号用于表明路由更新情况, 跟 DSDV 目的序列号类似, 以避免环路; 中间结点收到 RREQ 后, 首先在自身路由表中建立一条指向上一跳结点的逆向路径, 然后使用类似于 DSDV 判断目的序列号的方法, 如果自身缓冲器中拥有较新路由信息, 就发起路由响应 RREP, 并通过逆向路径把有效路由信息反馈回去; 否则把所跳次数递增 1, 并重新泛洪广播出去; 当目的结点收到 RREQ, 发起路由响应 RREP, 并把所跳次数初始为 0, 同时更新目的序列号, 并沿上游结点反馈回去; 中间结点收到 RREP, 同时更新目的序列号和递增所跳次数, 并把下游

结点和到达目的结点的跳数添加到相应的路由表中, 同时对该链路设置一个计时器来判断在特定时间里是否被使用, 如果未被使用, 就删除。源结点收到 RREP 把相应的下跳地址和到达目的结点跳数添加到相应的路由表中, 以备数据发送使用, 同时更新目的序列号, 以表明路由信息最新。

2.3.2 路由维护 AODV 结点通过 MAC 层周期性广播 hello 消息来判断链路状态, 如果该结点连续 3 次未收到 hello 响应消息, 就认为链路已经断开, 并删除包含该链路的路由信息, 发起路由错误, 通知相邻结点和相应的上游结点删除因链路断开而导致目的结点不可达的路由信息。

2.4 单路径评价及问题分析

以上这些单路径路由协议算法简单, 易于管理和配置。但是这些协议一般在路由发现阶段只获取一条路径 (如 DSR、AODV), 无法很好获取整个网络的拓扑信息, 从而无法有效利用网络的有效信息, 进而导致路由开销增加 (如 DSDV 需要周期性交换路由表导致开销增加); 而且数据发送一般只利用一条路径, 无法并行或者并发地发送数据, 导致网络传输率较低, 延迟增加, 网络负载不平衡, 甚至造成网络拥塞, 无法很好支持 QoS^[13]。因此在最近 Ad Hoc 路由研究中, 人们提出了多路径路由方法来解决上述问题。

3 多路径协议介绍

由于单路径协议存在上述种种问题, 因此提出了多路径路由协议, 文[14, 15]从理论上证明了按需多路径拥有较长的路径存活时间和更可靠路由信息, 而且拥有良好的性能, 并能减少部分拥塞。因此近年来多路径研究得到广泛的关注, 主要分为 2 大类: 多路径被动路由 (如 M-DSDV^[6]) 和多路径主动路由协议 (SMR^[7], AOMDV^[8])。如基于被动路由 DSDV 基础上扩展的 M-DSDV^[6]通过修改内部数据结构等方法来获取多路径支持; 基于主动路由 DSR 扩展的 SMR^[7]通过修改 DSR 路由发现机制, 并通过目的结点获取最大不相交路径; 文[8]提出了基于 AODV 协议的多路径协议 AOMDV。

3.1 M-DSDV 协议介绍

M-DSDV^[6]是在 DSDV 基础上扩展的多路径路由协议, 该协议通过获取和维护多条 Quasi 最短路径来实现多路径路由协议。所谓 Quasi 最短路径是指该路径中除第一跳以外到目的结点距离最短的路径, Quasi 多路径是指从源结点到目的结点的一系列 Quasi 最短路径集合。最短路径仅是 Quasi 最短路径的特例, 我们将称之为主路径, 其它的 Quasi 最短路径称之为冗余路径, M-DSDV 通过在源结点把数据分布在 Quasi 多条路径上来实现负载均衡。M-DSDV 与 DSDV 不同之处在于内部数据结构和多路径计算。

3.1.1 内部数据结构 M-DSDV 跟 DSDV 类似, 都是通过周期性地跟相邻活动结点交换路由信息来更新路由表, 所不同的是内部数据结构。M-DSDV 每个结点的路由表中都包含如下的路由信息: 目的结点地址, 下跳地址 (主路径的下跳地址), 主路径到达目的结点的跳数, 目的序列号, 前置结点地址和一个包含 Quasi 冗余路径下跳地址的集合。每次路由更新都把新检测到的相邻结点按照一定的计算添加到 Quasi 冗余路径。

3.1.2 多路径计算 M-DSDV 通过判断相邻结点 (非主路径上的下跳地址) 是否在主路径上, 如果不是在主路径上, 将该地址添加到下跳地址的连接表中, 否则丢弃, 从而实现无环多路径。

3.2 SMR 协议介绍

SMR^[7]协议是一种按需多路径路由协议。它着重于建立和维护最大数目多条链路不相交路径。但为了减少路由开销,只使用2条路径来发送数据,这样可以减少网络延迟和网络拥塞,使之更好适应 QoS。

3.2.1 链路不相交与结点不相交 链路不相交是指任何两条路径没有共同链路。而结点不相交是指任何两个路径除了源结点和目的结点没有共同结点。

3.2.2 路由发现 SMR 路由发现跟 DSR 类似,也是由路由请求和路由响应组成。

·路由请求:首先由源结点发起一个路由请求 RREQ,中间结点收到 RREQ 后,不是像 DSR 一样随意把后面来的 RREQ 丢弃,而是有选择性地吧 RREQ 包所包含的跳数比以前小的路径保存到自身路由表中,然后把自己的地址添加到 RREQ 中重新广播出去;并且中间结点不从缓冲器反馈任何路径,这是为了使得目的结点获取较多的网络拓扑信息。

·路由响应:SMR 跟 DSR 非常相似,只是当目的结点收到路由请求以后,从中提取两条(或多条)链路不相交路径沿主路径反馈回去。其余反馈机制跟 DSR 几乎一样。

3.2.3 路由维护 当中间结点检测到链路断开后,利用替换路径把数据包重新发送出去,并且向上游结点和源结点发送 RRER,请求它们把包含该链路的路径删除;当源结点收到 RRER 后,使用以下两种路由策略重新做路由发现:

·只要收到路径断开消息就重新做路由发现,这样可以获取最新的网络信息;

·只有收到两条(或多条)路径都断开的消息以后,才重新做路由发现,这样可以减少部分路由开销。

SMR 试验表明使用第二种路由发现策略性能较好。

3.3 AOMDV 协议介绍

AOMDV^[8]是一种在 AODV 基础上扩展的按需多路径路由协议,该协议通过获取多条无环和链路不相交的路径来实现多路径协议。AOMDV 主要有两部分与 AODV 不同:

·建立和维护无环路径更新的机制;

·获取多条链路不相交路径分布式协议的方法

3.3.1 路由发现 AOMDV 路由发现阶段与 AODV 类似,为了确保路径无环,仍使用目的序列号来表明路由更新情况并在内部数据结构增加广播跳数来代替原来的跳数,以表明到达目的结点的最大跳数,和〈nexthop, hopcount〉链表及一个路由列表。每次路由更新都要对新的目的序列号和当前的目的序列号进行比较,如果新的目的序列号较大,则重新设置广播跳数为无穷,并把相应的地址作为到达目的结点的下

跳地址;如果两个目的序列号相等,且新的广播跳数较小,则把该地址作为下跳地址,以此保证路由表不出现回路。为了实现链路不相交,在路由请求阶段不是随意丢弃重复的 RREQ,而是有目的地判断该 RREQ 包的第一跳是否与主机结点第一跳相同,如果不同,才把该路由信息保存下来,否则丢弃。

3.3.2 路由维护 AOMDV 的维护阶段跟 AODV 非常相似,不同的只是当路由表中的所有下跳地址的路径都失效时,才重新做路由发现。

3.4 其它多路径路由协议介绍

MSR^[16]是在 DSR 基础上扩展的,利用中间结点和目的结点反馈多条路径,并使用路径探测来减少网络拥塞和网络延迟;AODV-BR^[17]在 AODV 基础上建立多条路径来为路由出错的数据包提供替换路径支持;文[18]通过在路由响应阶段重定向响应路径来实现多条结点不相交路径;文[19]ARP 通过路径拆分来实现多路径;文[20]提出一种基于多样性编码的方法来建立多条路径,并把数据包分发到多条路径发送,藉此来提高可靠性和发送率。M-MPR^[21]提供了基于网眼的多路径寻径和包发送。AMR^[22]使用网络最大流^[23]获取多条结点不相交路径,并利用多条路径并行或者并发送数据来提高网络流量和负载平衡。

4 多路径路由协议评价比较及其讨论

通过上面的介绍,我们知道多路径路由协议主要也分成被动多路径路由和主动多路径路由协议,其中被动多路径路由协议以 M-DSDV 为代表,而主动多路径路由协议包括 SMR, AOMDV 等。其中 M-DSDV 使用多跳 Quasi 最短路径发送数据,在增加很少的路由开销的情况下,来提高网络传输率和网络负载平衡,并实现无环多路径路由。但 DSDV 的固有问题还是困扰着 M-DSDV 的性能,使之无法适应高速、动态的网络环境,只能用于小型、低速、网络动态变化较小的网络环境。SMR 通过目的结点获取多条路径,同时使用两条路径来发送数据,可以提高数据传送率,降低误包率,减少网络延迟。但是多路径由目的结点决定,从而导致源结点控制权较低,无法控制路径选择。AOMDV 能够在高速动态网络环境下,拥有较好链路容错能力和有效的恢复机制。当然使用多路径也有提高数据传送率,减少网络延迟等优点,但是由于 AOMDV 获取的路径太多,而且要等到所有可用路径都失效才做路由发现,因此导致获取的网络信息过时,发送数据的路径未必是目前最短路径。

M-DSDV, SMR, AOMDV 几种多路径路由协议总结如表1所示。

表1

协议	路由方式	路由选择标准	使用路径条数	结点不相交	可靠性	可控性	新增开销	适用网络环境
M-DSDV	被动多路径路由	Quasi 最短路径	多条	不是	较差	一般	较小	低速
SMR	主动多路径路由	最短路径	2条(多条)	不是	一般	较好	较小	中速
AOMDV	主动多路径路由	最短路径	多条	不是	较好	较差	较小	高速

5 多路径协议应用

以上多路径协议主要集中于如何提高网络传输率,降低网络延迟以及提高网络负载平衡,但多路径协议在 QoS、能源、安全等方面也有自身的优势。如 TBP^[9]提出通过发送选票来并行探测多条较优的路径,并通过资源预留方式来实现

QoS;文[10]提出在多项式复杂度内找到多条链路不相交或者结点不相交路径来减少能源消耗。文[11]提出一种基于并行网络流方式的自适应多路径路由协议,并通过时间限制来避免恶意 DoS 攻击,来提高网络安全性。

5.1 多路径在 QoS 应用

多路径在 QoS 应用比较典型的协议是 TBP^[9],该协议不

是基于广播泛洪方式,而是基于选票方式来进行一跳一跳地寻找出多条较优的路径。首先源结点发送选票来探测路径,如果发送的选票只有 n 个选票,那么最多就只能找 n 条路径;其次中间结点收到选票,根据自己以往统计信息,判断是否要拆分选票来重新分发选票,发往最有可能代价最小的下游结点,最后目的结点响应相应多条路径给源结点。

5.2 多路径在能源方面应用

文[10]提出利用多路径方式节能较为典型的算法,主要包括两种算法 STPS(Source Transit Power Selection)和 OCND(Optimal Common Node Decomposition)。其中 STPS 通过源结点在获取相应能源图基础上寻找多条结点不相交路径;首先在原有的基础上构造一个新的能源图 G ,其次获取最小权重的 k 条结点不相交路径,然后判断这些路径是否满足能源限制,最后重复以上步骤直至获取 K 条最小能源消耗的结点不相交路径。OCND 首先利用 STPS 构造的 K 条结点不相交路径;然后在此基础上增加原有能源图 G 上的几条相应的最小能源消耗的路径,从而获得链路不相交的多条路径来减少能源消耗。实验表明 OCND 的性能优于 STPS 的性能。

5.3 多路径在安全方面应用

文[11]提出一种自适应多路径路由协议,该协议利用并行网络流来寻找多条路径,并通过时间限制的方法来避免恶意 DoS 攻击,协议描述如下:

首先在邻居发现阶段使用加密的握手协议进行邻居发现,其次在网络发现阶段,由目的结点响应结点不相交路径给源结点,然后通过验证控制包或者数据包是否满足一定的时间限制,把不满足条件的包丢弃掉,以避免恶意 DoS 攻击;最后在路径维护阶段,利用替换路径来发送数据,以提高网络拓扑图利用率。

以上阐述的多路径协议在 QoS、能源和安全等方面也有较大的优势,但是相应的开销也有所增加,所以如何平衡多路径在各个方面的性能以获取较优性能将是以后多路径研究的关键问题。

总结 由于 Ad Hoc 网络的移动性和其网络拓扑结构的易变性,已有的单路径路由协议(DSDV、DSR、AODV)存在路由开销、网络延迟较大,传输率不高等一些不足之处,针对这些问题,近年来在 Ad Hoc 移动网络研究中提出了多路径路由协议。本文介绍了 M-DSDV、SMR、AOMDV 等几种典型的多路径路由协议,它们可以减少路由开销,降低网络延迟,提高数据传输率和避免部分网络拥塞,并讨论了它们各自的优缺点以及它们所适用的范围。最后指出多路径在 QoS、能源和安全等方面也有自身的优势。

从以上多路径路由协议介绍中,我们可以看出目前多路径研究尚处于初级阶段,因而需要往更广、更深层次的方向研究,所以在今后的多路径研究中,需要着重关注以下几个方面,首先如何在网络层加入多播来实现多播多路径协议,以提高网络利用率;其次是扩展性方面和有线网络相结合的研究,以实现大规模的多路径路由协议;最后如何平衡多路径在 QoS、能源和安全等方面的性能,以实现较优的性能也是今后多路径研究的关键问题之一。

参考文献

- Perkins C E, Bhagwat P. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing for mobile computers. ACM SIGCOMM'94, 1994
- Chen T-W, Gerla M. Global State Routing: A New Routing Scheme for Ad-hoc Wireless Networks. In: Proc. IEEE ICC'98, 1998
- Johnson D, Maltz D A. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, 1996
- Perkins C E, Royer E M. Ad-hoc on demand distance vector routing. IEEE Work Feb. 1999
- Park V D, Corson M S. A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks. In: Proc. of IEEE INFOCOM'97, Kobe, Japan, Apr. 1997
- Dong X, Puri A. A DSDV-Based Multipath Routing Protocol for Ad-hoc Mobile Networks. ICWN 2002
- Lee S J, Gerla M. Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks. IEEE ICC 2001
- Marina M K, Das S R. On-demand Multipath Distance Vector Routing for Ad Hoc Networks. IEEE ICNP, Nov. 2001
- Chen S, Nahrstedt K. Distributed Quality of Service Routing in Ad Hoc Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(8)
- Srinivas A, Modiano E. Minimum Energy Disjoint Path Routing in Wireless Ad Hoc Networks. ACM Mobicom, Sept. 2003
- Burmester M, Le T V. Secure Multipath Communication in Mobile Ad Hoc networks. ITCC 2004, Apr. 2004
- Royer E M, Toh C K. A review of current routing protocols for ad-hoc mobile wireless networks. IEEE Magazine on Personal Communication, 1999, 17(8)
- Chakrabarti S, Mishra A. QoS Issues in Ad Hoc Wireless Networks. IEEE Communications Magazine, 2001, 39(2)
- Nasipuri A, Das S R. On-demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks. IEEE IC3N, Oct. 1999
- Pham P P, Perreau S. Performance analysis of reactive shortest path and multi-path routing mechanism with load balance. Journal of Telecommunications and Information Technology, 2003(2)
- Zhang L F, et al. Load Balancing of Multipath Source Routing In Ad Hoc Networks. IEEE ICC 2002, Apr. 2002
- Lee S J, Gerla M. AODV-BR: Backup routing in ad hoc networks. IEEE WCNC, Sept. 2000
- Wu K, Harms J. Performance Study of a Multipath Routing Method for Wireless Mobile Ad Hoc Networks. MASCOTS'01, Aug. 2001
- Pearlman M R, Haas Z J, Sholander P, et al. On the impact of Alternate Path Routing for Load Balancing in Mobile Ad Hoc Networks. ACM Mobihoc. Aug. 2000
- Tsirigou A, Haas Z J, Tabrizi S. Multipath Routing in Mobile Ad Hoc Networks or How to Route in the presence of Topological Change. IEEE MILCOM, Oct. 2001
- De S, Qiao C, Wu H Y. Meshed Multipath Routing: A Novel and Efficient Strategy in Sensor Networks. IEEE WCNC, Mar. 2003
- 陈跃泉, 郭晓峰, 曾庆凯, 陈贵海. 一种基于网络最大流移动 Ad hoc 网络多路径路由算法, 电子学报, 2004(8)
- Cormen T H, Leiserson C E, Rivest R L, et al. Stein Introduction To Algorithms(second edition), MIT Press, 2001