

自组网AODV路由协议中断链修复的改进*

郑相全** 郭伟 李帆

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 610054)

【摘要】介绍了自组网和路由协议,对AODV路由协议中的断链问题进行了分析和仿真,提出了对其进行优化的方案并给出具体实现。优化方案使用了本地的反向路由重建方法,通过广播一个链路修复消息同时完成了路由查找和路由建立的任务。与传统的路由重建方式相比,可以节省在重建路由时引入的时延,并在一定程度上减少了路由重建的额外开销,以更好地适应自组网的应用环境。

关键词 自组网; 路由协议; 本地修复; 仿真

中图分类号 TN912 文献标识码 A

Improvement of Link Break of AODV in Ad-hoc Networks

Zheng Xiangquan Guo Wei Li Fan

(National Key Laboratory of Communication, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Because of the flexibility and convenience it can provide us, the mobile ad-hoc network becomes a very hot research topic presently. There are many related articles presented on various journals in this area, especially concentrated on the ad-hoc routing protocols. But, the solutions provided still have more or less defects. Firstly this article introduces the special characters of ad-hoc network and the existing routing protocols. Then analysis and simulation of the link break of ad-hoc on-demand distance vector in ad hoc networks are presented and a new mechanism to improve the performance of link repair is provided. The simulation results indicate that the improved method results in less delay and routing overhead while reconstructing route compared to the traditional method to some extent.

Key words ad-hoc network; routing protocol; local repair; simulation

自组网是一种移动通信和计算机网络相结合的网络^[1],网络的信息交换采用计算机网络中的分组交换机制,用户终端是可以移动的便携式终端,自组网中每个用户终端都兼有路由器和主机两种功能。作为主机,终端需要运行各种面向用户的应用程序,如编辑器、浏览器等;作为路由器,终端需要运行相应的路由协议,根据路由策略和路由表完成数据分组的转发和路由维护工作,故要求节点实现合适的路由协议。自组网路由协议的目标是快速、准确和高效,要求在尽可能短的时间内查找到准确可用的路由信息,并能适应网络拓扑的快速变化,同时减小引入的额外时延和维护路由的控制信息,降低路由协议的开销,以满足移动终端计算能力、储存空间以及电源等方面的限制。

目前自组网路由协议的设计主要有三种思路:1)修改现有的常规路由协议,使其能够适应自组网的需要,如DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)协议就是通过修改常见的RIP协议得来;2)采用按需发现的路由原则,不通过周期性广播路由信息来维持路由表,仅当需要建立路由时才发出请求以建立路由,从而有效地减少对网络资源的消耗,典型的有动态源路由(DSR)^[2]、AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector)

2003年9月1日收稿

* 国家863计划资助项目,编号:2001AA120303

** 男 31岁 博士生 主要从事移动通信和扩频通信、软件无线电组网技术等方面的研究

等; 3) 基于服务质量(QoS)的路由, 节点根据收集到的网络资源情况(而不是通常的跳数)选择一条最有可能满足用户QoS要求的路由, 如LS-QoS(Link State-QoS)协议。

表驱动的路由协议适合于常规有线网络, 但对无线自组网来说, 由于网络自身存在的诸多限制, 周期性广播控制信息分组会大量消耗网络带宽, 维护路由表会大量消耗移动终端的资源, 拓扑结构的快速变化会使很多路由信息很快变得过时, 造成资源的浪费。即使将表驱动协议针对无线自组网进行改动, 仍然在很大程度上存在这个问题。相比之下, 按需路由协议更能适应自组网拓扑结构快速变化的特点。

目前流行的几种典型按需路由协议中, DSR使用了源路由的机制, 要求在每一个数据包头部包含完整的路径信息, 大大增加了路由协议的开销, 且断链发生需要重建路由时, 需要将断链信息发回源节点, 由源节点重新发起路由发现过程, 带来了很大的延迟。AODV协议使用逐跳转发机制解决了这个问题, 但它需要使用周期性的Hello信息来维持节点之间的连接状态, 增加了开销, 而且在发生断链时, 则采用和DSR同样的方式进行重建路由。TORA协议除了自身的开销大外^[3], 还需要特殊硬件提供支持, 如GPS设备提供全网节点的时间同步功能, 并需要数据和控制两个独立的无线信道, 其应用局限较大。

本文讨论文献[4]中典型按需路由协议AODV的基本操作及存在问题, 并就路由断链后的重建提出改进方法。

1 AODV路由协议

AODV路由协议是在DSDV协议基础上结合类似DSR中的按需路由机制进行改进后提出的, 既借用了DSR的路由发现和路由维护机制, 又利用了DSDV的逐跳路由、顺序编号和路由维持阶段的周期性更新, 还加入了对组播路由QoS的支持, 其最显著的特点是为路由表中每个项都使用了目的序列号, 因而还可以避免环路的发生, 并且很容易编程实现。基于上述优点, AODV成为自组网路由协议研究中的热点。

AODV协议中, 当源节点需要和新的目的节点通信时, 就会发起路由发现过程, 通过广播路由请求RREQ信息来查找相应路由。当RREQ到达目的节点本身或一个拥有足够新(通过目的序列号来判断)的到目的节点路由的中间节点时, 目的节点或中间节点通过原路向源节点返回一个路由应答RREP信息来确定路由。

路由表项建立以后, 路由中的每个节点都要执行路由维持、管理路由表的任务, 其路由表中都需要保持一个相应目的地址的路由表项, 以实现逐跳转发。在维护路由表的过程中, 当路由不再被使用时, 节点就会从路由表中删除相应项。同时, 节点会监视一个活动路由中下一跳节点的状况, 当发现有链路断开的情况时, 就发出路由错误RERR消息通知其他节点以修复路由。在RERR消息中, 指明了由于断链而导致无法到达的目的节点。每个节点都保留了一个“先驱列表”来帮助完成错误报告的功能, 该列表中保存了把自己作为到当前不可达节点的下一跳的相邻节点。

2 AODV协议中解决断链问题的两种方法

2.1 备用路由方法

由于常规路由协议维护完整的路由表, 能得知网络中的拓扑情况, 很容易在路由表项失效时找到备用的路由。而自组网由于网络特点的限制要实时维护完整路由表不现实, 现有AODV中每个节点都要, 并且只能维持一个到目的地址的路由。一种折衷解决路由断链问题的思路是维护多个到目的节点的路由, 典型的有AODV-BR^[5], 利用无线通信中广播信道侦听到的相邻节点发给其他节点的RREP信息建立备用路由, 当检测到原路由中有断链时, 就发出申请要求建立备用路由, 有效地利用了无线信道的带宽, 使广播的RREP可用于建立备用路由, 而且备用路由就在原路由的附近, 不会有大的变动。建立多条路由用作断链时的备用路由可减少断链后的操作、降低延迟、减少丢包, 但它以增加各节点开销为代价, 对网络的性能可能会带来很大的负面影响。以AODV-BR为例, 研究人员的仿真结果表明, 在网络的吞吐量、端到端延迟等方面都有一定程度的提高, 但是AODV-BR对节点本身资源的消耗很大。网络中每个节点不管自己是否为目的节点都要有意侦听网络中的RREP, 将消耗很大的处理能力。而且, 并非只有在路由链路周围的节点才运行这种侦听, 网络中所有运行该协议的节点都会不断侦听, 所以这类协议由于对移动终端本身消耗太大, 在很多场合并不适用, 故建立多个备用链路对于自组网不一定合适。首先, 该方法已经近似于主动路

由协议, 借用了其维护网络连接的一些机制, 虽然有优点, 如快速恢复断链等, 但对于自组网来说其负面影响也很大, 因为自组网中大多数移动终端的处理能力都有限。其次, 自组网中断链情况由于拓扑变化很快而经常出现, 而快速动态变化的拓扑结构也很容易造成备用路由失效, 花费很大代价建立的备用链路实际上很多都被白白浪费了。同使用按需路由一样, 只在发生断链的时候实时地查找可用的路由, 恢复连接, 才更为有效实用。所以目前解决协议的开销问题, 包括网络开销和终端的开销是自组网路由协议设计中最首要的问题。

2.2 本地修复方法

传统的AODV在发现路由断路时使用源节点恢复的办法, 即当RERR传回到源节点告知路由已断时, 源节点重新进行路由发现。该方法虽然可靠但时延很大, 所以最新的AODV中提到了本地修复的思想, 由于造成断路的节点可能仍然在附近, 因而断链处的上游节点可使用生存时间(TTL)比较小的RREQ广播来修复路由。但是, 本地修复的使用效率受到一定的限制, 尤其是网络中节点的移动性大小对其影响比较明显。使用OPNET软件仿真的结果如图1、2所示, 仿真中假设20个节点在2 500 m×600 m范围内移动, 节点移动速度在0~20 m/s之间设置, 节点移动方向在0~360°随机选取, 到达边界时或每运动一定时间后重新随机选择运动方向, 仿真时间为10 min。

图1仿真结果表明, 在采用本地修复后数据的延迟在节点移动性较小时比源重新发起方式小, 但随移动性增加而增大, 并逐渐劣于后者。因为采用源重新发起方式时, 断路后数据包就被丢弃了; 采用本地修复后, 当出现断路时数据包会被存储在节点的缓冲区中, 等待链路修复后继续完成传送。经比较, 采用本地修复可以获得更低的数据分组丢失率。

上述结果同样可以通过图2中针对传输效率的仿真结果得到进一步说明。在节点移动性不高的情况下出现断链时, 使用本地修复可以减小时延, 提高数据传输的效率。如果采用源重新发起方式, 节点就会广播RERR, 丢弃数据报, 并要求源重新建立路由, 使传输效率降低。而当网络中节点的移动性增大到很高时, 网络拓扑结构快速且大面积的变化会导致本地修复失效, 反而会使数据包的传输效率降低, 而采用源重新发起方式, 传输效率基本保持稳定。

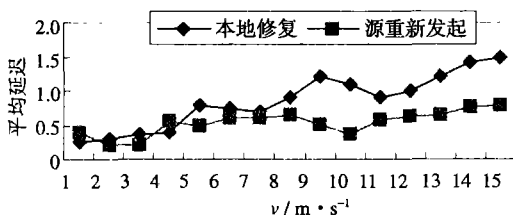


图1 移动性与平均数据传输延迟

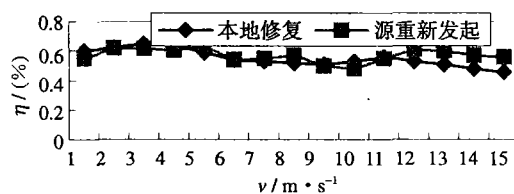


图2 移动性与传输效率

3 对本地修复的优化方案

综上所述, 备用路由是一种主动的处理方法, 本地修复是一种按需的方法, 经比较后者更符合自组网的特点。对于本地修复, 在节点移动性不大、网络拓扑结构变化不很剧烈时, 使用本地修复技术可以带来小的延迟和高的效率, 但是当节点的移动性较高、拓扑变化较剧烈时, 反而会带来很多负面的效果, 降低网络的整个性能。因此, 本地修复路由的方法还有很多可以改进的地方。

在AODV协议中, 源节点需要和新的目的节点通信时会广播RREQ信息来查找相应路由, 收到RREQ的节点建立起到源节点的反向路由, 但源节点本身并不知道已经找到了通往目的节点的路由, 必须通过目的或中间节点向源节点反向发送回来的RREP信息才能建立正向的路由。可见, 路由都是通过接收到的数据包或者控制信息反向建立起来, 真正起建立到目的节点可用路由的作用的是反向发送回来的RREP, 而RREQ只是起查找目的和通知目的回馈RREP的作用, 要想建立一条到目的的路由, 必须在同一路径上来回传输RREQ和RREP才能实现。显然, 在路由建立时取消RREQ的使用是不可能的, 但在路由建立以后发生断链时, 由于目的节点在以前的操作中已经知道自身是传输的目的, 甚至在这条路由中的中间节点也知道自己是活动路由的中间节点, 所以可不必再使用RREQ进行查找和通知目的发出RREP。当目的节点检测到

路由中间有断路时，可以直接发出一个类似RREP的消息来通知建立正向路由，而查找的功能可以通过广播来完成，从而节省了发送RREQ所造成的开销和延迟，其具体操作如图3所示。

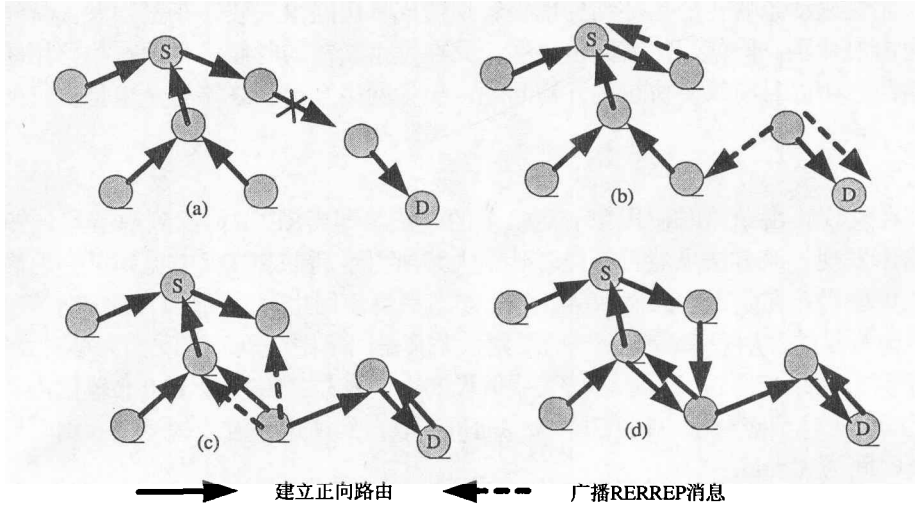


图3 改进的路由修复方法

当一条正在使用的路由中间链路发生断路时，断链处的下游节点检查路由表，确定与自己失去连接的节点是哪一条路由中的上游节点，并针对该路由的目的节点发出一个类似RREP消息的广播消息，称作RERREP(Repair RREP)。每个节点接收到RERREP消息后，检查自己的路由表，看是否有通向其中所指目的节点的可用路由，如果没有相应表项，则在路由表中创建相应的表项，并转发；若有相应路由表项，但是目的状态是不可达，则根据RERREP消息内容更新路由表；如果路由表中有相应的到目的节点的路由信息且是当前可用的，则丢弃该消息。当广播的RERREP消息扩散到断链处的上游某个节点时，正向的路由就可以马上建立起来。RERREP消息通过广播就完成了路由查找的功能，而由于目的节点方知道自己是目的，中间节点也知道自己是中间节点，所以可以使用RERREP来完成RREP的功能，直接建立正向路由。显然，通过这种由下游广播RERREP消息的方法，可以减少重建失效路由的时间和RREQ开销。

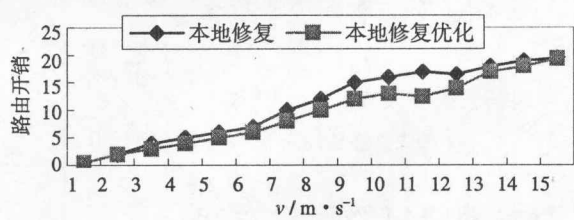
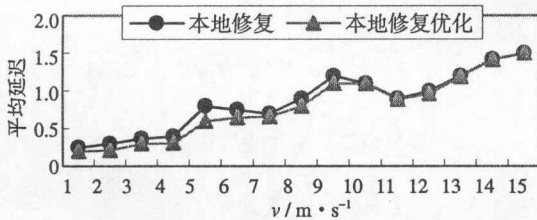


图4 改进的本地修复方法与本地修复方法延迟性能比较 图5 改进的本地修复方法与本地修复方法路由开销比较

该方法中，广播范围是一个重要的参数，可通过设置TTL值来完成，故设定一个合适的TTL值是一个很重要的因素，需要在仿真中针对不同环境，通过性能比较来得出一个合适的值。另外，当接收到RERREP的节点已经有相应的可用路由，就会丢弃RERREP包，这从另一个方面控制了RERREP消息的扩散。

图4为改进的本地修复方法与本地修复方法延迟性能比较，图5为改进的本地修复方法与本地修复方法路由开销比较。仿真结果表明在数据传输延迟和路由开销方面，采用改进的本地修复方法都使性能获得了一定程度的提高，改进方案的具体实现方法如下：

- 1) 通过Hello信息判断是否与相邻节点失掉连接。Hello是一种TTL值为1的RREP消息，接收到的节点在路由表中建立相应的表项，相邻节点的信息通过计时器来判断是否可用，超时就视为失掉连接；
- 2) 发现本地节点与相邻节点失掉连接时，通过读取路由表项中的相应信息判断节点自身是当前路由中的上游节点还是下游节点；
- 3) 如果节点自身是下游节点，创建RERREP并广播，如果节点自身是上游节点，设定一个计时器，超

时仍未收到RERREP时就向先驱列表中的节点发出RERR消息, 否则转4);

4) 节点接收到RERREP包时, 首先取出RERREP中的目的节点地址, 然后在路由表中进行检索。如果在本地节点的路由表中没有到达目的节点的路由, 或者虽然有相应的路由表项但是不可达和可达目的节点但其跳数大于RERREP中的跳数值加1, 则节点更新自己的路由表。更新路由表是将RERREP中的信息拷贝到路由表中, 建立新的到达目的节点的表项, 或者更新已有的路由信息, 重新建立可用的到目的节点的路由条目, 或用更短的路由来代替现有的路由。完成了路由表的更新之后对TTL值进行一次判断, 以决定是否转发RERREP消息。转发RERREP信息时, 首先对跳数值加1, TTL值减1, 然后将自己的地址设置在上一跳域里面, 最后将其广播出去。同时, 在路由表更新后检查自己的缓冲区, 看是否有去向相应目的节点的数据包被缓冲, 如果有, 则将数据报按照已经建立的路由发送出去并释放缓冲区。

4 结束语

本文对现有AODV协议中的断链问题进行了分析和仿真, 并用本地修复方法提出了优化的解决方案, 给出了重建路由的方法和具体实现方法。该改进方案使用了本地的反向路由重建方法, 通过广播一个RERREP消息同时完成了路由查找和路由建立的任务。比起传统的路由重建方式, 避免了通过来回传递RREQ和RREP消息才能建立正向路由的繁琐, 仅仅使用单程的RERREP就建立起正向路由, 可以节省在重建路由时的时延, 并在一定程度上减少了路由重建的额外开销, 以更好地适应自组网的应用环境。

参 考 文 献

- [1] IETF. Mobile ad hoc networks charter[EB/OL]. <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>, 1999-07-31
- [2] Johnson J, Maltz D. Dynamic source routing in Ad hoc wireless networks [M]. Kluwer Academic: Mobile Computing, 1996
- [3] Park V D, Corson M S. A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks[C]. INFOCOM '97. Sixteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Driving the Information Revolution., Proceedings IEEE, 1997, 3: 1 405 -1 413
- [4] Perkins C E, Royer E M. Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing draft-ietf-manet-aodv-10.txt[EB/OL]. IETF. <http://www.ietf.org/ietf/1id-abstracts.txt>, 2002-01-05
- [5] Lee S J, Mario G. AODV-BR: Backup Routing in Ad hoc Networks[C]. Wireless Communications and Networking Conference, 2000. WCNC. 2000 IEEE, 2000, 3: 1 311-1 316

编 辑 徐培红

· 科研成果介绍 ·

PKI 体系结构平台软件

主研人员: 余 莹 刘 瑾 张若阳 何 军 宁显明 仲晓亮 刘 可 严 浩 涂德志 许 立 郑方伟
杨 斌

PKI 体系结构平台软件符合 ITU X.509、RFC2459、RFC2510、RFC2511、RFC2527、RFC2559、RFC2587 和 RSA、PKCS#1~15 等标准规范, 使用 1 024 bit 及以上的 RSA、DSA 和 128 bit 的对称算法 IDEA、DES3、RC5 等, 安全性强。它基本具备了 PKI 要求的功能, 采用安全中间件技术, 实现了无线 PKI 和无线 WTLS 证书发放。

· 渠 涌 ·