

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2107164

基于 AOMDV 路由协议的改进方法

赵一蒙 张涛 刘玉涛

(中国电子科技集团公司第54研究所,石家庄 050081)

摘要: 针对移动自组网拓扑高动态变化和节点的繁忙程度导致数据包传输时延和丢包率增加的问题,本文提出了一种改进的 AOMDV 协议,基于分散路由的思想,减少了主路径切换到备份路径导致的时延抖动以及路由重传导致的丢包,同时加入延时算法,避免了主路径选到繁忙节点导致路径断裂的情况,通过设置不同的节点移动速率进行仿真,对比了 AOMDV 协议与改进协议的平均时延和丢包率,仿真结果表明改进的路由协议在端到端时延和丢包率指标上都优于 AOMDV 协议,尤其在节点移动速度超过 30 m/s 时,明显提高了网络传输的性能。

关键词: 移动自组网;AOMDV;分散路由;延时算法

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.50

Improved method based on AOMDV routing protocol

Zhao Yimeng Zhang Tao Liu Yutao

(The 54th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: In view of the high dynamic topology of ad hoc network and the busy degree of nodes, which leads to the increase of packet transmission delay and packet loss rate, the paper presents a protocol which is based on the idea of dispersed routing to avoid the delay and packet loss of trigger and retransmission, and adds delay algorithm to avoid the busy node being selected as the nodes of main path. Through simulation, different node rates are set, and the average delay and packet loss rate of AOMDV protocol and the improved protocol are compared. It shows that the improved routing protocol is better than the AOMDV protocol in terms of end-to-end delay and packet loss rate. Especially when the node moves faster than 30 m/s, the performance of network transmission is significantly improved.

Keywords: ad hoc; AOMDV; dispersed routing; delay algorithm

0 引言

移动自组网是一种自组织的网络,因为它不需要基础设施的支持,在恶劣的环境中也能够发挥重要的作用,因此在自然灾害和战争的紧急通信中应用广泛,在科学研究领域备受关注^[1]。但是,移动自组网中的每个通信节点都有其各自的通信范围,超出通信范围的节点间无法进行通信,然而移动自组网中的节点具有高度动态性,即节点移动比较频繁,导致时常有相邻节点超出对方通信范围,无法传输消息,路径断裂失效,导致丢包和时延^[2];或者当选取的路径中有比较繁忙的节点,也会导致时延和丢包。所以,对移动自组网中路径的选取,消息的传输的研究是很有必要的。

按需多路距离矢量路由(ad hoc on-demand multipath distance vector routing, AOMDV)是 Mahesh 等在按需距离矢量路由(ad hoc on-demand distance vector routing, AODV)基础上于 2001 年提出的一种协议,此协议针对

AODV 协议进行了改进^[3]。

由于移动自组网中节点具有动态性,以及节点的电池容量有限,导致某些链路中的节点超出了相邻节点的通信范围,从而导致链路断裂,需要重新进行路由发现过程,找到新的路径进行数据的传输,增加了时延和开销,AOMDV 协议使用多径路由来提高传输效率,在路由发现阶段,源节点接收到多条路径,选择最先到达的一条路径作为主路径进行传输数据,再选择一条路径作为备份路径,当主路径传输数据时发生断裂,切换到备份路径,当且仅当备份路径也无法传输数据后才会重新进行路由发现过程^[4]。AOMDV 协议的这种机制在高度动态的网络中有很好的容错能力和恢复能力,但是,在传输语音及视频等实时业务时,主路径切换到备份路径时会导致时延的抖动和丢包,针对这些问题,已经有很多的研究,文献[5]提出了将分散路由的思想应用到 AOMDV 协议中,并加入了秘密分享门限算法,接收端可以将数据包很好的接收还原。文献[6]提出以

收稿日期:2021-07-05

AOMDV 协议为基础,设计不间断的切换所使用的的多条路由,并加入了里德-所罗门码(Reed-Solomon codes, RS 码),提升了数据包传输的可靠性。但是这些方法都忽略了 AOMDV 协议中的备份路由思想以及 AOMDV 协议选择路径时选择的是最短延时路径,没有考虑到有些路径中的节点繁忙程度影响了路径质量,从而影响数据传输的性能。

针对上述问题,本文提出了一种将分散路由思想与 AOMDV 协议中的备份路径思想相结合,并增加了网络流量负载和地理位置信息参数作为选取主路径的一个选取标准的改进协议,对 AOMDV 协议中的路由发现过程中的 RREQ 包结构以及源节点中数据传输机制进行改进,最后通过仿真表明改进的路由协议减少了时延和丢包率,尤其在节点高速移动时,明显提高了网络传输的性能。

1 AOMDV 协议

AOMDV 协议保存了 AODV 协议的大多特点,在 AOMDV 协议中,设置了 3 种协议包,分别是路由请求协议包(route request, RREQ),路由应答协议包(route response, RREP),路由错误协议包(route error, RERR)^[7]。源节点在路由发现的过程中会向邻居节点也就是在他通信范围内的节点发送 RREQ 协议包,这些能接收到源节点发送的 RREQ 协议包的节点必须是在源节点的通信范围内的,在通信范围外的节点接收不到。这些邻居节点接收到路由请求协议包后会先判定收到的包是哪种协议包,之前是否接收过相同的,自己是否是包中记录的目的地节点以及自己的路由表中有没有到达目的地节点的路径等一系列判断,当路径能够建立起来时,中间节点或目标节点会在自己的路由表和协议包中加入路径信息,此时的路径信息是后向的,即从目的地节点到源节点的路径,随后目的地节点或有到目的地节点路径的中间节点会在自己的路由表中找到之前建立的后向路由,并通过这条路径向源节点回答 RREP 协议包,同时前向的路由会被一一创建。AOMDV 协议在一次路由寻找过程中,会找到多个路由,在传输数据时,当主路径断裂失效时,中间节点会通过路由维护过程向源节点发送 RERR 协议包来通知源节点路径断裂失效,此时源节点会启用备份路径重新传输本条数据。

AOMDV 协议是在 AODV 协议的基础上进行了改进,AODV 协议的路由表中的 hop count 也就是跳数改成了 advertising hop count,即广告跳数,AODV 中的 next hop 即下一跳改成了 routing list 即路由列表^[8]。广告跳数指的是节点 j 到目的地节点 d 之间的多条路径中最大的跳跃数,AOMDV 路由表项如图 1 所示。

AOMDV 协议中节点接收到重复的 RREQ 协议包时,不是按照 AODV 协议中收到重复的协议包即丢弃的规定,而是引入了一个新的变量第 1 跳,第 1 跳是指路径中与源节点直接相邻的节点,当中间节点收到重复的 RREQ 协议包时会检查它是不是一条新路径,主要是通过判断 RREQ

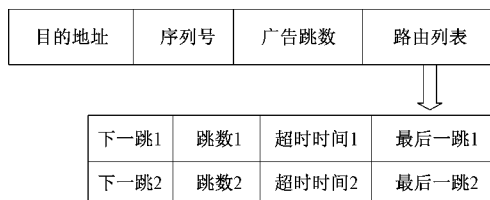


图 1 AOMDV 路由表项

中的第 1 跳和 RREQ 协议包中的第 1 个初始化列表来确定,如果是一条新路径,就不丢弃此协议包,而是向路由表中协议包加入或完善这条路径,从而获得多条链路不相交或节点不相交路径^[9]。

2 改进协议设计

AOMDV 协议在传输数据包时,如果主路径断裂,则需要切换到备份路径,由于移动自组网节点的高度动态性以及拓扑的不稳定性导致路径断裂失效的概率很大,当主路径断裂失效切换到备份路径时或节点比较繁忙时可能会引起时延抖动和丢包,本文提出了一种改进协议,基本思想是:在路由发现阶段,一次找到多条源节点到目的地节点间的路由,在多条路径中,选择最先到达的两条路径作为主路径同时传输相同的数据,再选择一条路径作为备份路径存储在路由表中,在路由传输过程中,如果其中一条主路径由于其中的节点的移动或者节点的繁忙问题导致路径失效或者断裂,则另一条主路径继续传输,当且仅当两条主路径都断裂时,再切换到备份路径进行传输,当备份路径也失效时,回到路由发现阶段。同时,针对主路由的选取,本文加入了延时算法,由于 AOMDV 协议的路径选择策略是当源节点第 1 次收到目的地节点传回来 RREP 消息时,即选择这条路径作为主路径,改进协议如果接着使用这个策略,在两条主路径中包含繁忙节点时,会增加路由切换的概率,使路由变得拥堵,加入延时算法后,源节点收到的第 1 个传回来 RREP 的路径是所有路径中包含繁忙节点最少甚至没有繁忙节点的路径,此时源节点依旧选取最先到达的两条路径作为主路径,第 3 个到达的路径为备份路径。下面介绍改进的协议的具体内容。

2.1 延时算法

1) 邻居节点个数

当一个节点处在网络中节点比较稠密的位置,它的邻居节点会有很多,那么它被选取成为路由中间节点的概率会很大,流量负载也会变大,如果选取这样的节点作为主路径的中间节点的话,会继续增加此节点的负载,降低网络性能,节点稠密度也是一个可以衡量节点是否繁忙的因素,节点稠密度可以通过式(1)得到^[10]:

$$N_i^j(n) = \frac{N_i^j(n)}{N_0} \quad (1)$$

式中: $N_i^j(n)$ 表示节点 i 收到第 n 个数据包时其所在位置的节点的稠密程度; N_0 表示节点 i 收到第 n 个数据包

时邻居节点的个数; N_0 表示网络拓扑的节点总数。

2) 缓冲队列长度

当节点繁忙时,待发送的数据包会被放到排队缓存中,当排队缓存队列达到一定长度时,再进入队列的数据包就会被删除,导致数据包延迟和丢包,所以排队缓存队列的使用情况也是一个可以衡量节点是否繁忙的因素,缓冲队列使用率可以通过式(2)得到^[10]:

$$L_r^i(n) = \frac{L_c^i(n)}{L_0} \quad (2)$$

式中: $L_r^i(n)$ 表示节点 i 在收到第 n 个数据包时的缓冲队列使用率; $L_c^i(n)$ 表示节点 i 收到第 n 个数据包时已经使用的队列长度; L_0 表示缓冲队列总长度。

3) 延时算法

将以上两个因素综合起来,得到延时公式:

$$T_i(n) = T[pN_r^i(n) + qL_r^i(n)] \quad (3)$$

其中, $p+q=1$, $T_i(n)$ 表示节点 i 在转发第 n 个到达的 RREQ 消息时所需要的延时时间,它随邻居节点个数和缓冲队列长度的改变而改变; T 是延时时间标准; p, q 和 T 的值可以根据实际环境选取。选取合适的 p, q 和 T 的值,可以使得延时算法在不同的场景中满足不同的需要,避免了选取有繁忙节点的路径作为主路径。

2.2 主路径的选取

路由发现阶段是指从源节点判断自己没有到目的节点的有效路径后开始,向邻居节点发送 RREQ 协议包,直到源节点收到从目的节点返回的 RREP 协议包时结束^[11],改进的协议的路由发现和 AOMDV 协议的路由发现基本相同,不同的是改进协议中中间节点在转发 RREQ 协议包之前,要先利用延时算法公式,计算延时时间 $T_i(n)$,并延迟 $T_i(n)$ 时间后再转发出去。下面举个例子来说明具体过程。

如图 2 所示,当源节点 S 收到要传输消息的指令时,指令中包含的目的节点为节点 D。源节点会首先扫描自己的路由表,判断自己是否包含源节点到目的节点的路径信息,如果有则直接进入下一个阶段,如果没有,则源节点 S 开始向自己的邻居节点发送 RREQ 协议包,即开始路由发现阶段,此时假设邻居节点 A、B、G 均收到 RREQ 协议包,节点 A、B、G 会首先检查自己是否是目的节点,如果不是,再扫描自己的路由表中有没有到达 RREQ 协议包中目的节点的路径信息,如果有,则向源节点回复 RREP 协议包,没有则将自己的地址放到 RREQ 协议包中的 First Hop 域中并将 Hop Count 加 1,然后建立反向路由 $A \rightarrow S, B \rightarrow S$ 和 $G \rightarrow S$,节点 A、B、G 利用延时算法公式计算延时时间,此时假设节点 A 较繁忙,则节点 A 将 RREQ 协议包延迟 $T_A(1)$ 时间后再广播出去,节点 B 和 G 比较不繁忙,则不延迟或延迟较短的 $T_B(1)$ 和 $T_G(1)$ 时间广播出去,节点 A 广播的新路由标记为 RREQ(A),节点 B 广播的路由标记为 RREQ(B),节点 G 广播的路由标记为 RREQ(G),这样

路径之间的时间差就体现出来了,目的节点 D 会先收到经过节点 B 或 G 的路径。

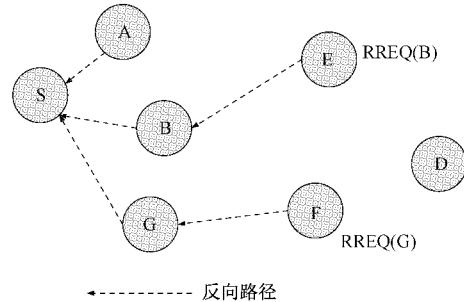


图 2 路由发现节点示意图

目的节点 D 在收到来自节点 E 和节点 F 的 RREQ 协议包后,由于 A 延迟了一段时间,所以最先收到的是经过节点 B 和节点 G 的 RREQ 协议包,此时分别沿两条先到达的反向路由返回一个 RREP 协议包,RREP 协议包通过节点 E 和节点 F 标记为 RREP(E) 和 RREP(F) 后沿不同的反向路由到达源节点 S。将得到的几条路由分别加入 route_level 标记,最先到达的标记为 0,紧接着到达的标记为 1,依次增加。这样,改进协议选取主路径时会选取最先到达的两条路径,有繁忙节点的路径一般不会被优先选做为主路径。

2.3 数据传输

分散路由是一种在源节点将消息分割成 K 个相等的子消息,通过源节点到目的节点之间的 N 条路径传输数据的路由传输方案^[12],表示为 (N, K) 系统,分散路由分为冗余分散路由和非冗余分散路由,当 $N > K$ 时,系统为冗余分散系统,当 $N = K$ 时,系统为非冗余分散系统,这里我们选择 $N = 2, K = 1$,即两条路径同时传输相同的消息,同时,再保留 AOMDV 中的备份路径,即 3 条路径共同保障数据的传输。

由于两条主路径分别传输相同的数据,在发送端和接收端添加数据包的发送和接收机制^[13],发送的数据包增加额外的统计信息,增加 ifcopy 标记,用来表示是原始包还是复制包。

源节点首先判断是协议包还是数据包,如果是协议包,则按照协议定义的方式发送,如果是数据包,则首先将数据包复制两次,分别放入复制包域和备份包域,将原始包中的 ifcopy 标记设置为 0,复制包中的 ifcopy 标记设置为 1,备份包中的 ifcopy 标记设置为 2,然后先判断当前源节点有没有到达目的节点的路由,如果没有则进行路由发现,并将原始包和复制包分别存储到队列中直到有到目的节点的路由存在,如果有,则选择其中 route_level=0 的路由的第 1 跳作为该原始包将要传输的下一个节点,随后再选择 route_level=1 的路由,将它的下一跳作为该复制包将要传输的下一个节点。接收端设置复制包筛选程序,它的功能是在网络层筛选复制包,先收到的可能是原始包,也可能是

复制包,无论收到哪个,当收到第 2 个相同的数据包的时候,就会丢弃第 2 个数据包。数据包的发送模式如图 3 所示,发送包和复制包紧跟着发送,数据包的发送时间间隔需要大于数据包的传输速率,否则会导致拥塞,导致数据包的丢包。



图 3 数据包发送模式

3 仿真结果和讨论

3.1 参数设置及性能指标

本文设置仿真环境为 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 的矩形区域内,分布的 64 个节点。仿真参数设置如表 1 所示。

表 1 仿真参数设置

参数	设置值
移动范围	$500\text{ m} \times 500\text{ m}$
移动模型	Random Way Point
移动速率范围/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	(10, 40)
仿真时间/s	100
数据包大小/bytes	512
发包间隔/ $(\text{packet} \cdot \text{s}^{-1})$	1
节点数	64
通信范围/m	100

本文选取了无线网络协议中最典型的两个性能指标,即端到端的平均时延和丢包率作为方案性能评价指标^[14]。

端到端的平均时延(average delay)。源节点发送数据包之前统计开始时间,接收端接收到数据包后统计结束时间,各个数据包的时延为开始时间到结束时间的的时间差,平均时延为各个数据包的时延求平均,丢掉的数据包不算在时延的统计中,端到端的平均时延反映了路由的实时性,计算公式如下^[15]:

$$\text{平均时延} = \frac{\sum (\text{结束时间} - \text{开始时间})}{\text{接收数据包个数}} \quad (4)$$

本文中的时延统计在到接收端第 1 次收到数据包时结束,分 3 种情况:1)收到原始包;2)收到复制包;3)收到经过备份路由发来的备份包。当收到可以恢复出原始数据包之后,即获取当前时作为结束时间,得到时延。

丢包率。丢包率是指端到端的分组丢失比率,反映了路由协议的完整性和可靠性,是一个衡量路由协议性能的综合指标,计算式如下^[16]:

$$\text{丢包率} = \frac{\text{发送包个数} - \text{接收包个数}}{\text{发送数据包个数}} \times 100\% \quad (5)$$

3.2 仿真结果分析

仿真将 AOMDV 协议、加入分散路由思想的 AOMDV

协议和本文提出再加入延时算法的改进协议分别进行了丢包率以及平均时延的统计,重传次数设置为 1,即第 2 次路由发现后如果所有路径传输失败则认为包丢失。在相同的试验参数下进行对比,通过改变节点的移动速率来观察 3 种协议的丢包率和平均时延。

从图 4 中可以看出,在节点移动速率很低时,3 种协议的丢包率相差不多,因为此时的拓扑结构很稳定,链路稳定性很好,路径中的节点不容易出现超出通信范围的情况,路径不容易出现断裂导致丢包,改进的协议的优势没有体现出来,当节点移动速率增大,加入分散路由思想的协议和改进协议的丢包率相差不多,但都优于 AOMDV 协议,因为此时拓扑结构稳定性变差,部分链路会断裂失效,两个改进的路由协议因为有两条主路径同时传输,当其中一条主路径断裂时,还有另外一条主路径可以进行传输,减小了丢包的产生,改进协议加入了延时算法,避开了繁忙节点,丢包率没有明显的优于不加入延时算法的改进协议。

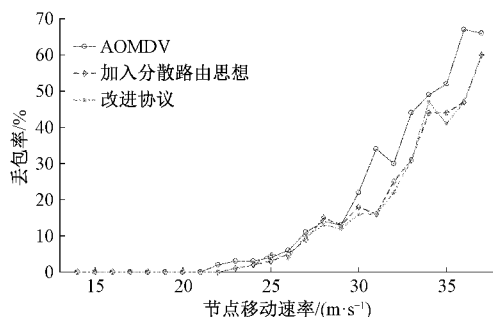


图 4 不同节点移动速率下丢包率对比

从图 5 可以看出改进协议的端到端时延在节点移动速率变大的时候要明显优于 AOMDV 协议和只加入了分散路由思想的改进协议。只加入了分散路由思想的协议相比于改进协议,选取的主路径没有避开繁忙的节点,虽然有两条主路径,但当两条主路径都断裂时,源节点需要等到接收到两条主路径都断裂的 RRER 时才会切换到备份路径,增加了时延的产生,而改进协议由于加入了延时算法,在选取主路径时避开了繁忙节点,使得主路径断裂的概率变低,从而时延减少。

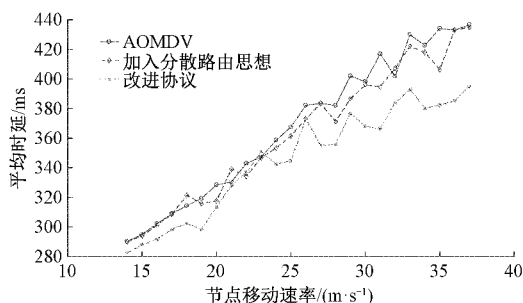


图 5 不同节点速率下平均时延对比

4 结 论

针对传输语音及视频等实时业务时延抖动问题,对 AOMDV 协议的路径选择以及数据传输机制进行了改进,通过将分散路由思想、备份路由思想相结合,同时在路径选择时采用延时算法能够有效降低丢包率,减少时延,尤其在通信节点高速移动时,网络性能得到了明显提升。但本文仅考虑了端到端时延和丢包率两个优化指标,没有考虑业务传输的吞吐量的需求和开销的限制,我们希望在未来的研究工作中,将吞吐量和开销也考虑到协议的设计中,对协议进一步的优化。

参考文献

- [1] MAKHLOUF A M, GUIZANI M. SE-AOMDV: Secure and efficient AOMDV routing protocol for vehicular communications[J]. *International Journal of Information Security*, 2019, 18(5): 665-676.
- [2] 孙伟,丁震,王建平. 基于多跳无线传感器网络的智能电网延时优化研究[J]. *电子测量与仪器学报*, 2019, 33(8):140-146.
- [3] 任春利,李洪烈,刘洪武,等. 移动自组网 AOMDV 协议应对衰落改进方案[J]. *信息技术*, 2013(12): 149-153.
- [4] 郭少雄,李正伟,宋志群. 基于节点负载等级的自组网 AOMDV 路由协议改进方法[J]. *河北工业科技*, 2021, 38(2):109-115.
- [5] 高晓琳. 基于 AOMDV 的并行路由传输机理与方法研究[D]. 四川:电子科技大学,2017.
- [6] 傅力戈. 建立在 MANET 上的并行路由传输编码原理与方法研究[D]. 四川:电子科技大学,2017.
- [7] 祝嘉东,孙君,许晖,等. 基于 DSR 的改进型综合源路由协议[J]. *通信技术*, 2020, 53(1):80-86.
- [8] 金瑞,刘作学. 基于生存周期的自组网同步研究[J]. *电子测量技术*, 2017, 40(6): 147-151.
- [9] 梁青,吴峰,熊伟. 无人机自组网中基于节点差异的 AOMDV 协议[J]. *计算机工程*, 2019, 45(12):98-102,126.
- [10] 刘洪. Ad Hoc 网络中 AOMDV_L 协议的研究与实现[D]. 辽宁:东北大学,2009.
- [11] PENG S L, CHEN Y H, CHANG R S, et al. An energy-aware random multi-path routing protocol for MANETs[C]. 2015 IEEE International Conference on Smart City/socialcom/sustaincom, IEEE, 2015:1092-1097.
- [12] 赵普凡,王伟. 基于动态路径规划的车载自组织网络贪婪路由协议[J]. *国外电子测量技术*, 2020, 39(11): 46-51.
- [13] 韩震,万华,王风军. 一种基于 Ad Hoc 网络的节点调度方法[J]. *国外电子测量技术*, 2011, 30(8): 29-34, 41.
- [14] 罗峰,徐金鹏. 基于车载环境的时间同步协议优化[J]. *仪器仪表学报*, 2019, 40(2):96-104.
- [15] 曾诚. 无线 mesh 网络中多路径路由算法的研究与验证[D]. 湖北:华中科技大学,2014.
- [16] 曾仑. 基于业务优先级的 Ad Hoc 网络接入算法研究[D]. 黑龙江:哈尔滨工业大学,2018.

作者简介

赵一蒙,硕士研究生,主要研究方向为移动自组网协议等。

E-mail: zhaoyimeng0901@126.com