

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.09.018

机动突击中的自组网多路径路由技术*

刘大鷗**,黎晓波,胡建军,胡松

(中国北方车辆研究所,北京 100072)

摘要:随着作战样式的变化和武器装备的变革,装甲车辆机动突击作战中协同控制的重要性不断增强,对网络通信的各项性能指标提出了更高要求,而自组织网络所具备的一些优良特性能够较好地适应这一需求。在网络通信中,稳定性是衡量网络路由性能的重要因素。机动突击作战中,车辆移动、障碍物阻挡等因素将导致网络拓扑变化迅速,给路由稳定性带来严重影响,极大地降低了网络通信质量。基于 AODV 协议,设计并仿真了一种链路不相交的多路径被动式路由协议,以路由回复消息中携带的路由信息为基础,实现两条不相交链路作为通信路由并互为备份。仿真结果表明,该协议在数据包到达率及平均时延方面较 AODV 协议均有一定提高。

关键词:装甲车;机动突击;协同控制;自组织网络;路由协议;不相交链路;AODV

中图分类号:TN915 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2013)09-1213-05

Multi-path Ad-hoc Routing Technique in Mobile Assault

LIU Da-kun, LI Xiao-bo, HU Jian-jun, HU Song

(China North Vehicle Research Institute, Beijing 100072, China)

Abstract: Due to the variety of combat mode and the innovation of weapon equipment, cooperative control of armored vehicles in mobile assault becomes more and more important. Therefore, network with high performance is required. In virtue of some excellent features, Ad-hoc network can well satisfy this requirement. In network communications, stability is one of the most important indicators of network routing performance. However, in mobile assault, factors such as fast movement and obstacle will cause rapid variation of network topology and bad impact on the network stability. Consequently, it brings bad debasement to the communication quality. In this paper, an on-demand routing protocol based on disjoint multi-path is analyzed and simulated. Routing information carried by route-reply messages is used to choose two disjoint links which are the backup of each other. This protocol is the improvement of AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) mechanism. The simulation results show that the presented protocol can achieve lower packet-loss-rate and shorter end-to-end delay.

Key words: armored vehicle; mobile assault; cooperative control; Ad-hoc network; routing protocol; disjoint links; AODV

1 引言

随着现代信息技术的发展,装甲车辆的信息化程度越来越高,车辆之间信息交互的容量和频率均处于不断增长之中。特别是在机动突击作战中,协同控制的重要性日益凸显,对无线通信质量提出了更高要求,主要体现在覆盖能力、传输能力、动中通

能力、动态组网能力、安全保密能力等几个方面。

移动自组织网络^[1-3] (Mobile Ad-hoc Network, MANET) 是一种新型的网络模式,由于其极高的灵活性、抗毁性和实用性而获得了广泛关注。基于装甲车辆的 Ad-hoc 网络是一种特殊的移动自组织网络,由安装有信息收发装置的装甲车辆组网构成。在装甲车辆的机动突击作战中,由于车辆工作环境

* 收稿日期:2013-07-30;修回日期:2013-09-10 Received date:2013-07-30;Revised date:2013-09-10

** 通讯作者:janal-zheng@163.com Corresponding author:janal-zheng@163.com

复杂多变,运动无固定规律,且为自身隐蔽而采用短波通信使得通信范围较小,该类型自组织网络的拓扑结构变化相对更快、更为频繁。另外,由于装甲车辆的特殊性,其对通信可靠性的需求更高,特别是机动突击中协同控制的交互信息更是重中之重。因此在该网络中,研究可靠性高的路由协议显得尤为重要^[4]。

现有自组织网络路由协议中,一般采用跳数即转发次数作为路由选择依据,也即选取跳数最少的一条链路作为通信路由。跳数越少,转发延时及转发可能带来的误码率较小,链路质量越高。但在拓扑结构变化率较高的情况下,链路频繁断裂会给网络质量带来极大影响,成为关键的影响因素。跳数减少在降低误码率的同时使得链路断裂次数提高,链路断裂后再次发起的路由发现过程大量占用了网络资源,可能会带来链路时延和丢包率加剧。在该背景下,多路径的路由协议更适用于机动突击中的自组网通信。

文献[5]中提出一种主动式路由协议,即目的节点序列距离矢量协议(Destination Sequenced Distance Vector, DSDV)。该协议基于 Bellman-Ford 路由选择算法发展而来,其最大优点在于给每条路由由设定路由序号,从而有效避免了路由环路。协议中,每个节点维护包含了网络所有其他节点的路由表。网络每个节点每隔一段时间都会进行广播,完成与邻居节点之间路由信息的交换,路由更新在有网络拓扑改变时也会进行触发。

由于 DSDV 协议每个节点路由表中已存在到其他节点的路由信息,在源节点需要发送数据分组时无需发起临时的路由发现过程,可查找路由表后立即进行传送,因此对于实时性要求较高的业务如流媒体、语音业务等更为适用。但是 DSDV 作为主动式路由协议的典型代表,在拓扑变化较快的无线网络中并不适用:拓扑变化会触发全网广播,从而导致拓扑信息交换占用大量网络资源,节点需要花费很高代价维护路由表;另外,若拓扑变化很快,某些情况下可能刚获取的路由信息随即失效。因此,DSDV 协议一般应用于网络节点数较少、拓扑变化频率较低速度较慢的网络环境。

相对 DSDV,文献[6]中所提出的自组织网络按需距离矢量路由协议(Ad-Hoc On-Demand Distance Vector, AODV)为典型的被动式路由协议,相对来说更适用于网络拓扑变化较快的网络,如车载移动自组织网络。

AODV 协议中,当源节点需要发送报文且路由表中没有到目的节点的路由时,将会广播路由请求消息,该消息中携带了目的节点地址,并通过多跳到达目的节点。路由请求消息到达目的节点后向源节

点原路返回路由回复消息,从而确定路由。网络中节点不需要实时维护网络拓扑信息,因此不会因路由消息占用大量网络资源。相对主动式路由由协议 DSDV 来说,AODV 更适用于拓扑快速变化的自组织网络。

本文将基于 AODV 协议,研究并仿真实现一种多路径的自组织网络路由协议 BAK-AODV,结合路由回复消息中的路由信息选取不相交路由作为链路备份,能够在一条路由由失效后迅速切换至备份路由,不需等待路由发现过程再次建立通信,以保证链路的稳定性和通信的可靠性。

2 链路不相交的多路径路由协议

装甲车辆自组织网络中,由于车辆运行环境复杂、运动状态多变、短波通信半径相对较小等限制,网络拓扑变化进一步加剧。对于这种情况,AODV 每次路由发现过程仅确定一条可用路由存在不足,因此考虑多路径路由协议。然而,若备用路由与现用路由相交,且交点有可能为关键节点,其失效后两条路由均不可用,因此在多路径的基础上需要进行链路相交判断。

2.1 路由选择原理

在拓扑结构较为稳定的情况下,选取跳数最少的一条路由进行通信是可取的,但在拓扑快速变化的网络中,每次路由发现过程仅产生一条可用路由会导致频繁的路由发现过程,且路由发现过程中通信不可用容易带来时延和丢包。在路由发现过程中建立不相交链路作为备用路由则可以较好地解决这个问题,简单描述其选择原理差别,如图 1 所示。图中,节点 a 为源节点,g 为目的节点。

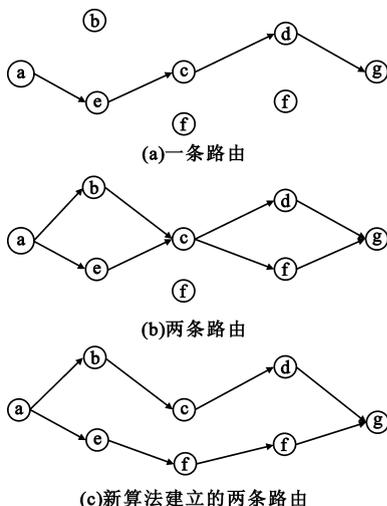


图 1 路由选择原理

Fig. 1 Router selection principle

如图 1(a)所示, AODV 协议所选取路由为 a - e - c - d - g, 因链路跳数相同, 选取首先返回路由消息的链路。在这种情况下, 若链路中有任意节点或链路出现问题, 将导致路由断裂, 如图 1(a)中 c 节点失效则链路中断, 需要再次发起路由发现过程, 从而耗费更多的网络资源, 并带来更大延时。

图 1(b)所示的路由算法建立了两条路由, 分别为 a - b - c - d - g 及 a - e - c - f - g。这两条链路从一定程度上减少了链路断裂的可能性。如节点 b、d、f 失效, 另一条路由仍可进行正常通信。然而, 若两条链路的交点, 即关键节点 c 失效, 则两条路由均失效, 未起到应有的备份效果。

图 1(c)中所示, 新路由算法仍建立两条路由, 但两条路由不相交, 分别为 a - b - c - d - g 及 a - e - f - f - g。在这种情况下, 任何一节点断裂均不会导致两条路由同时失效, 可有效地起到备份效果, 提高通信的稳定性。

2.2 路由发现过程

路由发现过程分为三部分, 下面分别介绍。

(1) 节点每隔一段时间在一跳范围内广播自身位置信息 (Hello 消息), 邻居节点收到 Hello 消息后, 将节点 id 存储至邻居节点列表。该部分从时间范围来说与路由发现过程独立, 但从功能上与之统一: 路由发现过程所需的连通通过 Hello 消息在相邻节点之间传输。过程如图 2 所示。



图 2 Hello 消息流程
Fig.2 Hello message flow

(2) 源节点有数据需要发送且没有可用路由, 则发起路由发现过程, 广播 RREQ (Routing Request) 消息。中间节点收到 RREQ 消息后, 在 RREQ 消息中加入自身标识信息, 并利用邻居列表的连通信息, 向所有邻居节点转发 RREQ 消息。最终 RREQ 消息到达目的节点, 且消息中包含了路由中的所有节点信息, 目的节点根据这些信息向源节点返回 RREP (Routing Reply) 消息。处理过程如图 3 所示。



图 3 RREQ 消息流程
Fig.3 RREQ message flow

(3) 源节点收到目的节点返回的第一个 RREP 消息后, 保存该消息并等待一段时间, 该过程中收到的所有路由请求消息均被保存至缓存队列。时间到达或者缓存消息个数达到要求后, 比较 RREP 缓存队列中所有路由的节点信息, 选取跳数最小且不相交的两条路由并存储至路由表, 按照该路由表进行数据传输, 路由发现过程完成。过程如图 4 所示。

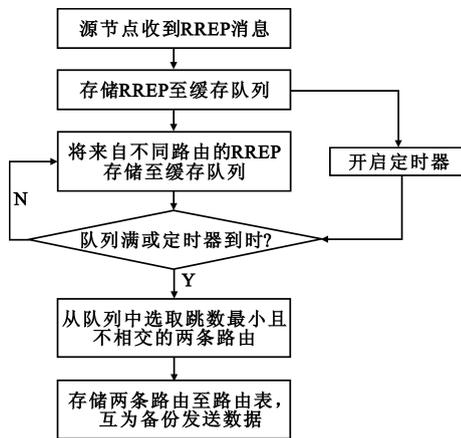


图 4 RREP 消息流程
Fig.4 RREP message flow

2.3 路由维护过程

BAK-AODV 路由维护过程与 AODV 协议相类似。若路由中某一节点发现下一跳节点不可达, 则会向上一跳节点发送路由错误消息 RERR (Routing Error)。RERR 消息沿原路由反向传播, 直到路由中所有的活跃节点均被通知到。

源节点收到 RERR 消息后, 发起路由发现过程。该过程中因备份路由存在, 数据通信未中断, 仅需建立一条与通信路由不相交的路由即可, 与无路由存在时的路由发现过程略有差异。新路由建立好后, 添加至路由表替代断裂的路由, 并与现存路由互为备份。

3 协议仿真与性能分析

3.1 仿真环境及参数设定

本文仿真基于 NS2 (Network Simulator 2) 进行, NS2 是一个面向对象的、由离散时间驱动的网络仿真平台, 广泛应用于网络仿真领域。针对装甲车辆

对通信可靠性的极高要求,仿真在结合拓扑变化率的基础上,主要对两个性能指标进行了分析:丢包率及平均网络时延。为表明 BAK-AODV 协议算法的有效性,在此同时对 AODV 进行了仿真用以对照。

以随机路点模型^[7]为基础,网络拓扑变化率 τ 可由式(1)衡量:

$$\tau = \rho r (v_{\min} + v_{\max}) \quad (1)$$

式中, ρ 为网络中节点的密度, r 为节点通信半径, v 为节点运动速度,默认环境为 FreeSpace 也即无遮挡无反射。

仿真基本参数设定如下:无线信道模型 FreeSpace,MAC 层协议 802.11,流量模型 CBR 且数据速率为 5 kb/s。另外分别针对节点密度、通信半径和运动速度设计了 3 组。其中,为使拓扑变化率更贴近现实,平衡无线信道模型及无节点开关等的影响,仿真中提高了节点平均运动速度至 20~40 m/s。

3.2 仿真结果分析

3.2.1 丢包率

丢包率是指从源节点发送的数据分组(与在传输过程中丢失的分组数的比的倒数,该指标针对应用层,因此能够有效反映路由有效性和网络服务质量。丢包率越高说明网络服务质量越差。影响丢包率的因素有很多种,但是链路稳定性是其中起决定性作用的因素:如果链路发生断裂,路由断裂处的上游节点会将数据包进行缓冲,并等待路由协议建立新的路由,在这段时间内该节点处收到的后续数据包都将会被丢弃。从图 5 可见,在节点密度、平均移动速度、通信半径所影响的不同拓扑变化率的网络环境中,新协议均表现出良好性能,能够建立更为稳定的通信,降低丢包率。

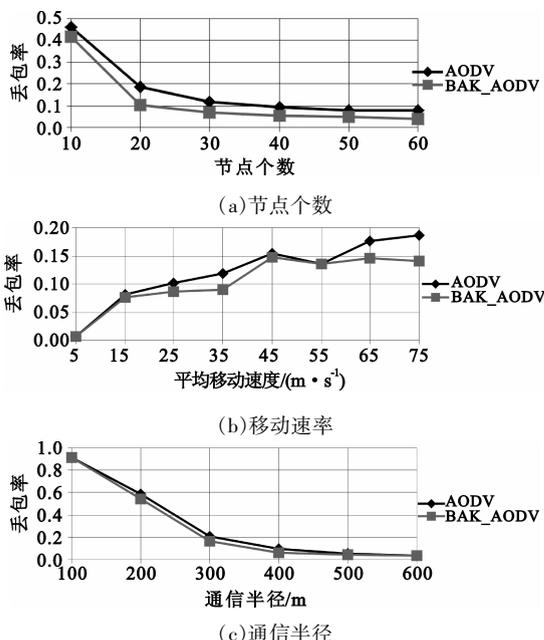


图 5 丢包率仿真结果

Fig.5 Simulation result of packet loss probability

3.2.2 平均网络时延

链路的频繁断裂使得路由发现过程的频繁发生,从而造成网络时延的极大提高。多路径路由协议中,因路由备份减小了链路断裂对网络通信质量的影响,从而降低网络时延。三组仿真如图 6 所示。

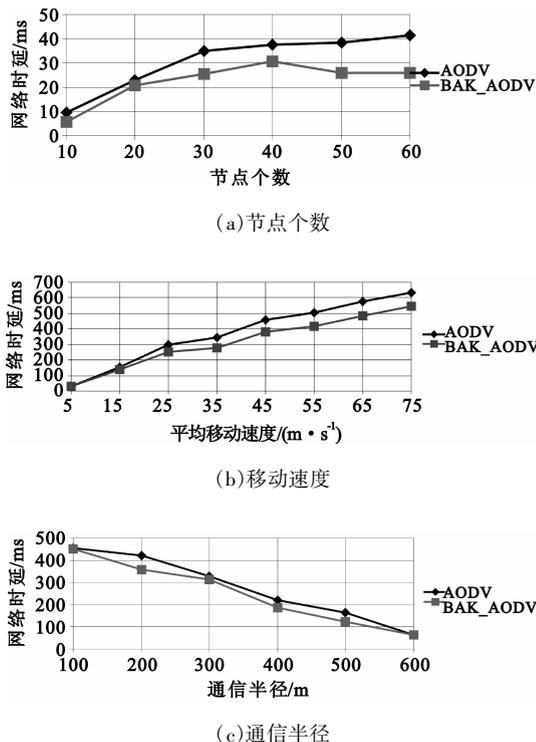


图 6 网络时延仿真结果

Fig.6 Simulation result of network delay

从图 6 中可明显看出,新路由协议有效减小了网络时延,提高了网络服务质量。

4 结论

移动自组织网络为装甲车辆的车际通信提供了一种新的模式,具有广阔的应用前景。由于装甲车辆的特殊性,自组网网络拓扑变化率增大,而对通信可靠性的要求又有所提高。针对该问题,本文在 AODV 协议的基础上,研究并仿真实现了基于多路径的链路不相交自组织网络路由算法。仿真结果表明,该算法在丢包率及网络平均时延方面均获得了较好的性能提升。

参考文献:

[1] Chakrabarti S, Mishra A. Qos Issues in Ad Hoc Wireless Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2001, 39(2): 142 - 148.

- [2] Barolli L, Koyama A, Shiratori N. A QoS Routing Method for Ad Hoc Networks based on Genetic Algorithm[C]//Proceedings of 14th International Workshop on Database and Expert Systems Applications. Prague, Czech Republic: IEEE, 2003: 175 - 179.
- [3] Chai-Keong T. Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems[M]. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall Publishers, 2002: 23 - 28.
- [4] Giordano S, Lu W W. Challenges in Mobile Ad Hoc Networking[J]. IEEE Communications Magazine, 2001, 39(6): 129 - 139.
- [5] Perkins C E, Bhagwat P. Highly Dynamic Destination Sequenced Distance Vector Routing(DSDV) for Mobile Computers[J]. Computer Communication Review, 1994, 24(4): 234 - 244.
- [6] Perkins C E, Belding-Royer E M, Das S. Ad-Hoc On-Demand Distance Vector(AODV) Routing[C]//Proceedings of Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. New Orleans, LA: IEEE, 1999: 21 - 29.
- [7] Bettstetter C, Hartenstein H, Xavier P C. Stochastic Properties of the Random Waypoint Mobility Model[J]. Wireless Networks, 2004, 10(5): 555 - 567.

作者简介:



刘大鹞(1978—),男,山西朔州人,硕士,高级工程师,主要研究方向为坦克装甲车辆车辆信息系统、光电对抗系统;

LIU Da-kun was born in Shuozhou, Shanxi Province, in 1978. He is now a senior engineer with the M. S. degree. His research concerns tank and armored vehicle information system, photoelectric countermeasure system.

黎晓波(1989—),男,甘肃平凉人,硕士,主要研究方向为通信与信息系统;

LI Xiao-bo was born in Pingliang, Gansu Province, in 1989. He is with the M. S. degree. His research concerns communication system.

胡建军(1973—),男,湖北天门人,硕士,高级工程师,从事车辆总体信息设计及指控设计工作;

HU Jian-jun was born in Tianmen, Hubei Province, in 1973. He is now a senior engineer with the M. S. degree. His research concerns overall design of the vehicle information, command and control.

胡松(1980—),男,湖南长沙人,主要研究方向为军用车辆电气系统、电子信息系统研究。

HU Song was born in Changsha, Hunan Province, in 1980. His research concerns electrical system of military vehicles, electronic information system.