

一种面向军用移动自组网的高效路由协议

夏羽, 张芹, 徐学永, 何军, 高天成, 程彬

(北方信息控制集团有限公司, 江苏 南京, 211153)

摘要: 移动自组织网络 (MANET) 由于其无中心、移动性和抗毁性等特点已经被各国军队广泛采用以组建战术通信网。路由协议是 MANET 的关键技术之一, 军用环境的特殊性对移动自组网的路由协议提出了更加严格的要求。本文针对小规模战斗分队的特点及其作战需求, 设计一种面向军用移动自组网的高效路由协议, 该协议在保证路由健壮性的情况下, 可以提高分组投递率, 减少协议的控制开销, 同时能够有效支持单向链路。

关键词: 军用移动自组网; 路由协议; 单向链路

0 引言

移动自组织网络, 又称 MANET (Mobile Ad Hoc Networks) 或简称 Ad Hoc 网络, 是一种动态变化、多跳、无中心且基于无线信道的自组织网络。在 Ad Hoc 网络中, 所有节点的地位平等, 既可以作为主机又可以作为路由器, 网络不需要固定基础设施支持, 可实现分布式的无中心管理, 可临时组织, 具有高度的移动性和很强的抗毁性。上述特点可以满足军用战术通信的使用需求, 因此, Ad Hoc 网络技术已经被各国军队广泛采用以组建战术通信网, 例如, 美国陆军战术互联网的核心就基于 Ad Hoc 网络的设计思想, 其采用分层的网络架构, 分为上层的战场地域通信网和下层的战术电台互联网, 每一层都是分布式的自组织网络[1], 其中近期数字电台 (NTDR) 和无线互联网控制器 (INC) 等主要通信装备也都使用了 Ad hoc 网络技术。

路由协议是 Ad Hoc 网络的重要组成部分, 高效的路由协议能够提高网络的通信质量, 而军事通信的特殊性、战场的多变环境和抗毁等需求又对移动自组网路由协议提出了更加严格的要求, 如: 快速收敛、路由无环、支持单向链路、控制开销尽可能少等等[2]。现有的 Ad Hoc 网络路由协议, 如 DSDV[3]、AODV[4]、OLSR[5]等, 往往针对某个单独的需求或场景有针对性地开展设计, 通常都受限于一定的适用范围, 并且很少考虑战场通信的实际需求, 因此很难直接应用于战术通信网络。

鉴于目前存在的上述问题, 本文设计了一种针对陆军小规模作战分队组网需求的移动自组网路由协议, 以期能够满足战术通信实际需求并提升作战效能。

1 研究背景

根据美军情况, 其战术互联网的服务对象一般为师一级的作战单位, 作用范围为几十到上百公里, 通信覆盖范围约为 35000 平方公里, 能够覆盖全师作战地域。其中战场地域通信网属于军师战术通信网络, 主要连接旅级以上的作战指挥单元; 下层战术电台互联网属于旅和旅以下战术电台互联网, 主要用于连接旅和旅以下作战单元。

我们考虑旅级以下的营连攻防战斗, 从战术通信的角度来看, 每个战斗分队可看作是通过互联网控制器互联的不同子网, 每个子网是一个典型的对等移动自组织网络, 一般包括 8~16 个节点[6], 在此基础上我们设计相应的军用移动自组网路由协议。

参考美军陆军作战手册, 机械化步兵与坦克营是美陆军的基本的诸兵种合成战斗分队, 而在现代战场上, 机械化步兵与坦克营(连)通常采取特遣队(战斗队)的战斗编组组织实施攻防战斗。营特遣队既要关注 3~5 公里范围内的近战, 又要监视 15 公里范围内的敌情, 连战斗队仅关注近战。以美军 NTDR 为例, 其通信距离为 10~20km, 因此营特遣队 15km 的通信需求在其两跳覆盖范围内,如图 1 所示。在实际的战场环境中, 战斗分队由于具有明确的目的性, 其往往具有群组移动性的特征[7], 整体结构变动不大; 然而战场通信系统所采用的无线电台存在手持、背负、车载等多种型号, 其发射功率不同, 导致覆盖范围也不同, 这也造成了大量的单向链路[8]。

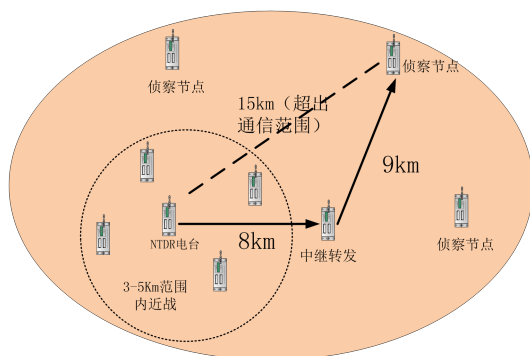


图 1 美军营/连特遣队通信示意图

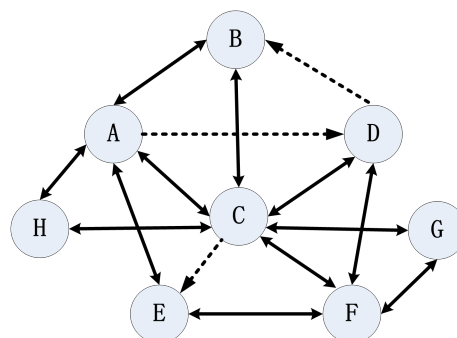


图 2 具有单向链路的网络拓扑示例

因此，我们设计一种适用于小规模组网，整体拓扑相对稳定的军用移动自组网路由协议，该协议综合考虑分组投递率、控制开销、路由维护及健壮性等因素，同时能够有效处理战场通信环境下常见的单向链路的情况。

2 面向军用移动自组网的高效路由协议设计

如前所述，针对上述小规模作战分队的实际组网需求，本文所设计的面向军用移动自组网的路由协议（Military Oriented Ad-hoc Routing, MOAR）考虑了网络覆盖范围（2跳）、分组投递率、控制开销、健壮性以及单向链路支持等因素，协议主要包括以下几个方面内容：

2.1 邻居感知

网络中所有节点周期性地广播 Hello 消息，该消息包含了邻居节点的信息和相应的链路状态，并只在一跳范围内传输。其中链路状态包括三种：

F_ASYM: 前向非对称链路，表示邻节点可以收到本节点消息，但本节点不确定能收到邻节点消息；

B_ASYM: 后向非对称链路，表示可以收到邻节点消息，但不确定邻节点能否收到本节点消息；

SYM: 对称链路即双向链路，表示链路已经被验证是双向的。

一对相邻节点之间的链路验证为双向链路需要经过三个过程：

1) 在初始节点，节点 A 收到邻节点 B 的 Hello 消息，A 将 B 放入自己的邻居集，并将 B 的链路标记为 B_ASYM 状态；

2) 之后节点 B 如果收到节点 A 的 Hello 消息时，B 在自己的邻居表中将 A 的状态更新为 SYM 状态

3) 此后节点 A 如果再次收到节点 B 发送的 Hello 消息时，A 将 B 的状态更新为 SYM 状态。

通过上述的“三次握手过程”，可以确定两个相邻节点之间的双向链路。节点通过接收邻节点的 Hello 消息更新本地保存的邻居表。

2.2 拓扑更新

节点通过周期性地邻居感知，最终可获得两跳范围内邻居的链路信息，并形成相应的拓扑表，保存到本节点中。由于网络中存在单向链路，节点因此通过周期性地交换邻居表并不能得到 F_ASYM 状态的链路信息，下面我们以后图 2 举例来说明。

图 2 中，A-D 代表所示拓扑图中的六个节点，实线代表节点间的双向链路，虚线代表单向链路，箭头表示数据信息可传递的方向。其中，A 与 D 之间存在一条单向链路，相对于 A 来说是 F_ASYM 状态，D 能够收到 A 发来的邻居表信息，但是 A 收不到 D 的消息。由于每个节点只和自己的邻居节点交换本节点的邻居表，A 只能知道通过 C 的中继可以到达 D，而无法得知它和 D 之间还存在一条直接的单向链路。然而，实际在一些情况下（比如业务不需要双向可靠确认），从 A 直接一跳到 D 而不经 C 转发更为经济和有效。

对于上述的问题，我们可以在接收端通过比较中继节点来解决。假设在网络开设初期，A 有数据需要发送到 D 时只能通过 C 来转发，目的节点 D 在收到节点 C 转发过来的数据后，比较源节点 A 和自己的邻居表，发现 A 与自己有一条直接的 B_ASYM 链路，此时 D 根据路由表发送一条“单向链路通告”到 A，A 在收到 D 的单向链路通告后，更新自己的邻居表（即将节点 D 加入到自己的邻居表中，链路状态设为 F_ASYM），此后如果 A 再次有数据发送到 D 时，捎带一条“单向链路通告 ACK”指令，告知 D 无需再次发送该通告。

通过上述方式，每个节点可以获知一跳邻居范围内 F_ASYM 状态的链路信息。

拓扑更新的周期在网络稳定时期可能会较长，因此在周期间隔内，可以采用触发更新机制，即当某一节点检测到有节点入网、退网或链路发生变化时，触发拓扑更新，该节点广播拓扑更新消息；当其他节点收到拓扑更新消息时，同样广播拓扑更新消息至邻节点。

由于周期性发送的 Hello 分组消息中实际包含该节点的邻居表，对于触发更新，不必每次都发送完整的邻居表，可以只发送其中变化的部分，即变化邻居表。这样有助于降低协议的开销，为网络提供更多可用带宽。

触发更新是基于事件来触发拓扑更新，当网络变化过快时，会导致更新过于频繁。因此，需要定义一个“拓扑更新最小间隔时间”来限制更新频率，在该时间间隔内拓扑更新消息发送不能多于 1 次。

2.3 路由表计算

每个节点根据节点内保存的拓扑表，计算到网络中其他节点的路由表。路由表的计算主要基于以下几个原则：

- 1、 路径最短原则，即当目的节点为一跳可达并且链路状态不为 B_ASYM 状态时，不需经过转发；
- 2、 链路最优原则，即到目的节点相同长度的路径中，优先选择链路状态为 SYM 状态的路径；
- 3、 路由备份原则，即路由表中为每一个目的节点额外保留一条备份路由，该路由从其长度最短的路径中优先选择链路状态为 F_ASYM 状态的路径。

上述路由表的计算原则既保证了传输数据的开销及时延（路径最短），也使得数据优先从连通性最好的链路传输（链路最优原则），同时考虑到某些业务不需要可靠传输确认，当单向链路路径更短时，保留该单向链路作为备份路由，既增强了路由的健壮性，又节省了网络资源。

4 仿真分析

为了验证本文所设计的 MOAR 路由协议的有效性，我们在 Matlab 平台下编写仿真程序对相关算法进行仿真和比较。其中网络节点数为 8 个，网络拓扑结构如图 2 所示，我们分别从分组投递率和路由控制开销两方面对 MOAR 协议、DSDV 协议和 AODV 协议进行比较，对于主动式路由协议（MOAR、DSDV），周期性更新的时间间隔为 30s；实验中所有数据均仿真 20 次求平均。

首先在不同链路传递成功率（0.8~0.95）的情况下比较三种路由协议的分组投递率，仿真结果如图 3 所示：

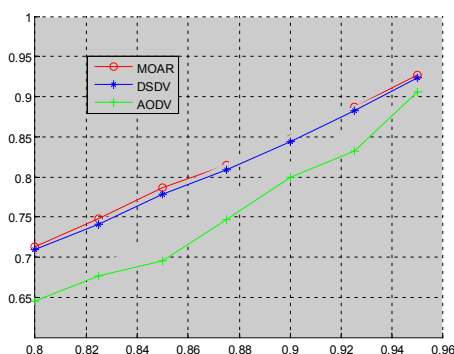


图 3 不同协议分组投递率比较

从图 3 可以看出，本文所设计的 MOAR 路由协议在分组投递率上稍稍高于传统的 DSDV 路由协议，并且随着链路传递成功率的逐渐提升，两者的分组投递率也接近线性上升并达到较高的比率。由于 MOAR 和 DSDV 都是主动式路由协议，通过周期性更新维护路由表，路由信息相对比较准确，而 MOAR 协议可以支持单向链路，并且在选路时根据链路状态和路径长度进行了一定的优选，因此分组投递率相比 DSDV 协议略有提升。而 AODV 协议的分组投递率相比上两种协议有一定差距，尤其是链路传递成功率较低（0.8）的时候，这是因为当链路丢包相对较多时，按需路由协议得到的路由信息准确性较低，有时需要多次泛洪发起路由请求，因此数据分组成功提交的比例也相对较低。

图 4 所示为三种路由协议的控制开销比较，对于 MOAR 和 DSDV 协议，我们将周期性控制消息更新间隔固定为 30s，而 AODV 协议路由请求的频率初始值设为和周期更新频率相同，然后不断增大该频率进行仿真。

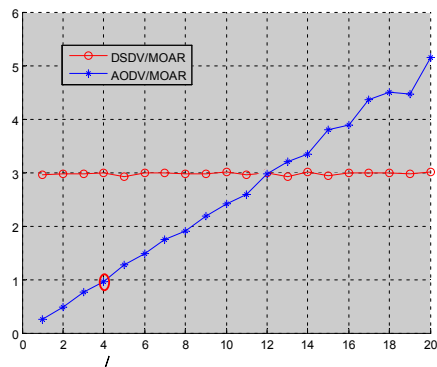


图 4 各协议路由控制开销比较

仿真结果中的两条曲线分别是 DSDV 协议和 AODV 协议对 MOAR 协议的路由开销比，从图中可以看出，DSDV 协议和 MOAR 协议的比值趋于平稳，大概维持在 3:1 左右。这是因为当两者周期更新的间隔相当时，DSDV 更新的是路由表，而 MOAR 则更新带有链路状态的邻居表，和更新路由表相比开销较少。对比 AODV 协议，路由控制开销随着路由请求频率的增大逐步上升，当路由请求频率和 MOAR 周期更新频率的比值大致是 4:1 时，两者控制开销大致相当。对于军用移动自组网而言，战场环境瞬息万变，各类突发性业务和网络拓扑的变化将导致频繁的路由请求和更新，因此可知，本文提出的 MOAR 协议在控制开销上也优于 AODV 协议。

5 总结语

本文首先介绍了战场网络的相关背景及组网需求，然后根据战场环境的特点，提出了一种面向军用移动自组网的高效路由协议 MOAR，该协议充分考虑了路由的健壮性以及对战场环境下常见的单向链路的支持。仿真结果表明，MOAR 协议在分组投递率和路由控制开销方面相比 DSDV、AODV 等传统的 Ad Hoc 网络路由协议都有不同程度的提升，可满足小规模作战分队的组网需求。

参考文献:

- [1] 于全, 战术通信理论与技术[M], 北京: 电子工业出版社 2009.3 16-20.
- [2] 徐建勇, 牛大伟等, 一种适用于战术条件下的自组织网路由协议[J], 电讯技术, 2009.11.
- [3] He G. Destination-sequenced distance vector (DSDV) protocol [J]. Networking Laboratory, Helsinki University of Technology, 2002.
- [4] Das S R, Belding-Royer E M, Perkins C E. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing [J]. 2003.
- [5] Clausen T, Jacquet P, Adjih C, et al. Optimized link state routing protocol (OLSR)[J]. 2003.
- [6] 阎瑾. 美军战术互联网体系架构研究[J]. 通信技术. 2011.9.
- [7] 杜华桦, 基于战术互联网的一种新型混合路由协议[D], 西安电子科技大学, 2008.
- [8] 尹浩, 秦泽, 王杉, 战场环境下移动自组织网络的单向链路研究[J], 系统仿真学报, 2007.11.