第 46 卷　第 11 期　　计　算　机　工　程　　2020 年 11 月
Vol. 46　No. 11　　Computer Engineering　　November 2020

·移动互联与通信技术·　文章编号：1000-3428(2020)11-0214-09　文献标志码：A　中图分类号：TP393

战术通信网中 EIGRP 路由协议的应用研究

韩婷婷，刘　强，孙延涛，郭首江

（北京交通大学 计算机与信息技术学院，北京 100044）

摘　要：为了提升战场环境下的通信质量，根据战术通信网的异构网络特点，将 EIGRP 路由协议与战术通信网相结合，依据典型战术建制总结归纳战术通信网的体系结构并构建战术通信网层级结构中的节点逻辑模型，在此基础上，提出一种战术通信网中的 EIGRP 路由协议参数配置基本原则。基于 OPNET 仿真工具进行实验对比，结果表明，相比 OSPF 路由协议，EIGRP 路由协议在战术通信网中的网络恢复时间更短，路由峰值更低，且不同的参数配置可以产生符合不同需求的选路结果。

关键词：EIGRP 路由协议；战术通信网；OPNET 仿真工具；路径计算；节点逻辑模型

开放科学（资源服务）标志码（OSID）：

中文引用格式：韩婷婷，刘强，孙延涛，等. 战术通信网中 EIGRP 路由协议的应用研究[J]. 计算机工程，2020，46(11)：214-222，230.

英文引用格式：HAN Tingting，LIU Qiang，SUN Yantao，et al. Application research of EIGRP routing protocol in tactical communication network[J]. Computer Engineering，2020，46(11)：214-222，230.

Application Research of EIGRP Routing Protocol in Tactical Communication Network

HAN Tingting，LIU Qiang，SUN Yantao，GUO Shoujiang

（School of Computer and Information Technology，Beijing Jiaotong University，Beijing 100044，China）

【Abstract】In order to improve the communication performance in the battlefield environment，this paper combines the EIGRP routing protocol with the tactical communication network according to the features of the heterogeneous tactical communication network. Based on the typical tactical organization system，this paper summarizes the architecture of the tactical communication network，and constructs the logic model of nodes in the hierarchical structure of the tactical communication network. On this basis，the basic principles of configuring the parameters of the EIGRP routing protocol in tactical communication network is proposed. Experiments in comparison are carried out by using the OPNET simulation tools. The results show that compared with the OSPF routing protocol，the EIGRP routing protocol provides reduced network recovery time and routing peak in tactical communication network. Also，it can produce routing results that meet different requirements by using different parameter configurations.

【Key words】EIGRP routing protocol；tactical communication network；OPNET simulation tool；path calculation；logic model of node

DOI：10.19678/j.issn.1000-3428.0055742

0　概述

战术通信网是数字化战场的通信网络，自 20 世纪 90 年代出现以来，受到各国军队的高度重视，战术通信网的通信质量直接关系到作战信息和作战指令的准确传递[1]。路由协议决定了数据的转发路径，路径的优劣直接影响整个网络的效率，针对不同的网络选择合适的路由协议可以使通信延时更短，通信质量和网络效率更高。与民用网不同，战术通信网是有线和无线混杂的异构性网络，而且战场环境比民用网应用环境恶劣，通信受到的干扰较多，同时战术通信网中的通信节点具有严格的层级结构，不同

基金项目：中央高校基本科研业务费专项资金（2018JBM012）。

作者简介：韩婷婷（1995—），女，硕士研究生，主研方向为战术通信网、数据链技术；刘　强、孙延涛，副教授；郭首江，硕士研究生。

收稿日期：2019-08-14　**修回日期：**2019-11-09　**E-mail：**tthan1995@foxmail.com

计算机工程 www.ecice06.com

层级的通信节点对通信的要求也有所不同。为使战术通信网可以更好地在战场中发挥作用,战场通信网中路由协议的应用研究至关重要,选择符合要求的路由协议并配置合适的相关参数可使战术通信网更好地为作战提供通信保障。

本文介绍战术通信网中路由协议的应用现状以及目前对 EIGRP 路由协议的研究成果,总结战术通信网的体系结构,针对战术通信网的网络特点建立一种应用于通信节点的逻辑模型。在此基础上,提出 EIGRP 路由协议路径开销的计算方法,并给出路径开销计算函数中各项参数的基本配置原则。

1　相关工作

互联网技术在战场上的应用与发展产生了现代信息战中的一个重要战场信息传输网络,即战术通信网。自数字化战场的概念被提出以后,多国(如法国、德国、英国、荷兰和加拿大)都制定了相应的数字化部队研究计划[2]。美国从上世纪 90 年代初期开始进行战术互联网研究。在“九五”和“十五”期间,我国数字化战场建设的各项预先研究工作陆续展开,国内各科研单位参考美军战术互联网,结合我国实际情况对战术互联网关键技术进行了大量的研究。

文献[3]对比研究了 AODV 和 DSR 2 种按需路由协议在战术通信网中的性能表现,结果表明,在一个较大的通信范围内,节点的移动对这 2 种路由协议都有一些影响,但总体而言,DSR 路由协议相比 AODV 路由协议更稳定。文献[4]对战术通信网的体系结构进行探讨,得出战术通信网的性能与网络的体系结构有很大关系,文中分别分析了快速配置的蜂窝移动网络、移动网格网络、移动分级陆地网络和空中中继系统,提出一种结合民用通信设施的战术网络结构,并介绍如何通过建模的方法来得到最终的设计方案。文献[5]归纳总结 OSPF 路由协议并分析了该协议的路由开销。

EIGRP 是 Cisco 公司设计的一种实现链路状态协议和距离矢量协议最佳性能的动态路由协议。自 1992 年以来,EIGRP 路由协议被广泛应用于各种中型和大型网络中。EIGRP 使用扩散更新算法(Diffusion Update Algorithm,DUAL)来计算最佳路径,极大地减少了路由收敛时间并保证了路由无环[6]。同时,EIGRP 的备份路由策略使得网络发生故障时的平均收敛时间很短。对于战场通信而言,遭遇突发事故时的网络恢复极其重要,EIGRP 路由协议在寻找最佳路由时除最佳路径外会存储 1 条或 2 条备份路由,当最佳路由发生故障时会迅速切换至备份路由,切换时间不足 1 s,只有当所有路径均不可用时才会重新计算路由,这使得整个网络更加稳定,减少了网络的震荡[7-8]。

虽然在 2013 年以前 EIGRP 协议一直是 Cisco 公司的私有化协议,但是对 EIGRP 的研究探讨早在十几年前就已经开始。EIGRP 路由协议的表现与预期相同,其在中等规模的网络中实现了无环保证和快速收敛[9-11]。在战场环境下,EIGRP 是比 OSPF 协议更有效的一种路由协议,EIGRP 的收敛性比 OSPF 快近 2 倍并且峰值流量减少了 50%,平均端到端延时比 OSPF 减少了 20%,异常情况下对数据的响应时间也明显少于 OSPF[12-13]。由于 EIGRP 路由协议使用的 DUAL 算法在路由丢失时存有备份路由,因此 EIGRP 的丢包数量相较于 OSPF 明显减少[14-16]。文献[17]研究表明,RIP 协议不适用于战场环境,这是由其自身特性决定的,例如,RIP 以跳数作为路由度量的标准,不能准确地反映路径属性,此外,每个路由器间隔 30 s 发送一次更新,以此来发现邻居并维护相邻性,而且一条路由被声明作废的时间为180 s,因此,RIP 对网络拓扑变化不敏感。而 IGRP 同样因为其特性不适用于战场环境,例如,IGRP 周期性地发送更新信息以发现邻居并维护相邻性,默认时间间隔为 90 s,并且 IGRP 不支持 CIDR 和路由积累,因此,IGRP 对网络拓扑变化并不敏感,而且网络更新也占用了一定的带宽,带宽利用率较低。

由于 EIGRP 路由协议开放较晚,而 OSPF 路由协议标准化强、支持厂家多、应用广泛,因此对 OSPF 协议在各种场景下的应用研究较多。目前,对 EIGRP 路由协议进行研究时没有将其与战术通信网的具体应用场景相结合,因此,本文在已有对战术通信网和 EIGRP 路由协议分析的基础上,进一步对 EIGRP 在战术通信网中的应用进行研究。

2　战术通信网结构

战术通信网的网络结构与民用网络存在很大区

计算机工程 www.ecice06.com

别,其军队有严格的建制,在战场上需要传输和处理大量的作战指挥信息,不同级别的通信节点的消息传递方式以及对通信的需求不同[18]。本文根据典型战术建制,总结和归纳与战术建制相符合的战术通信网体系结构以及典型战术通信网络中节点的逻辑结构。

2.1 战术通信网体系结构

战场环境千变万化,但消息传递和处理流程必须与层级结构相符合。与民用网络不同,在战术通信网中消息并不是简单的点对点传输和处理,而是在向上级节点传递的过程中经过每级节点的处理和汇总[19-20]。在这种情况下,战术通信网的网络模型也需要是层级式的,每一层级的节点对同一层级节点、上一层级节点和下一层级节点采用不同的通信方式,从而满足不同的通信需求。本文总结归纳战术通信网的层级结构,如图 1 所示。

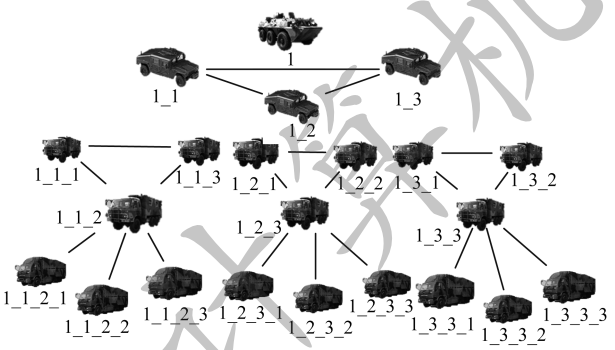

图 1 战术通信网的层级结构

Fig. 1 Hierarchical structure of tactical communication network

在图 1 中,以团营连排四级典型战术建制为例,节点编号表示节点在网络中所属层级,编号为 1 的节点表示团级节点,编号为 1_1、1_2、1_3 的节点表示营级建制,即 1 团 1 营、1 团 2 营、1 团 3 营,依次类推,编号为 1_1_2_1 的节点为 1 团 1 营 2 连 1 排的战术节点。节点在网络中所属的层级清晰明了,与层级相对应的节点编号也更加方便管理节点的通信地址等相关信息。图中实线连接的节点表示节点间通过有线网络进行通信,其余节点用无线网络进行通信。节点编号不仅表示了节点之间的层级关系,还表示了节点间通信的路径。管理节点的 IP 地址以及每个节点与同一层级、上一层级和下一层级通信端口的 IP 地址相互隔离,使得节点之间可以按照规划的路径进行通信,如节点 1_1_2_1 与节点 1_3_3_1 的通信路径为 1_1_2_1→1_1_2→1_1→1_3→1_3_3→1_3_3_1。如前文所述,战场中节点的通信不是简单的消息转发,战术消息需要汇总处理和统筹规划,因此,采用此种层级结构能够有效防止网络中的消息冗余和杂乱。

2.2 战术通信网中的节点逻辑结构

战术通信网的分层式结构及网络模型决定了其节点结构,节点需要支持与上、平、下级节点间不同速率以及不同条件的通信,支持有线、无线相混合的模式,支持不同的通信接口单独配置。本文提出的战术通信网节点结构如图 2 所示。

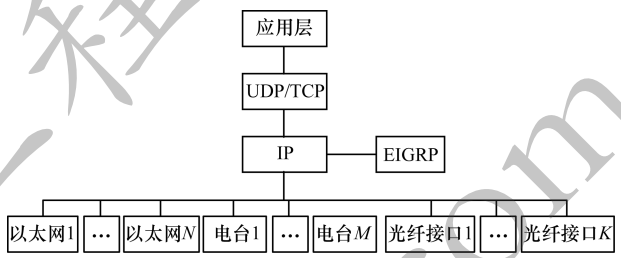

图 2 战术通信网中的节点结构

Fig. 2 Node structure in tactical communication network

在图 2 所示的节点逻辑结构中,节点的接口数量及类型可根据实际需求进行选择和配置,节点各模块间的协同工作过程为:

1)以太网接口和光纤接口用于和有线网络进行通信,电台分别和不同层级的节点实现通信,具有不同需求的通信可以采用不同的电台,如超短波电台、短波电台、单兵电台和长波电台等。有线和无线数据链路共同与 IP 模块相连接,每一个接口都配有 IP 地址。在由此种节点组成的战术通信网中,路由建立过程如图 3 所示。

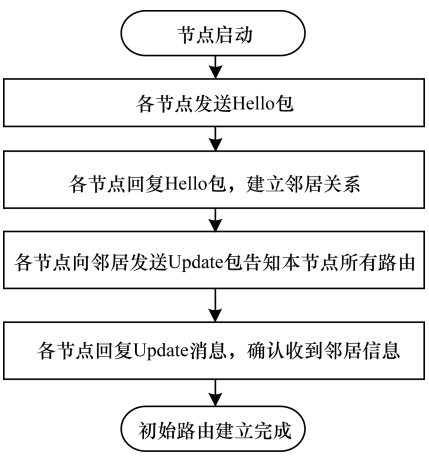

图 3 战术通信网初始路由建立过程

Fig. 3 Initial route establishment process of tactical communication network

计算机工程 www.ecice06.com

2)当节点开始工作后,EIGRP 模块开始运行,向外发送 Hello 包,探测邻居并生成邻居表和路由表,当有路由更新时发送 Update 消息给所有邻居进行路由更新。在路由建立完成后,当应用层有数据需要发送时,消息从应用层模块向下传递并被封装,查看路由表找到转发接口后由该接口发出。当无法找到转发接口,即路由表中不存在到达该目的节点的路由时,向所有邻居发送 Querry 消息进行路由查询,待路由查询完成后,若存在到达该目的节点的路由,则发送消息,若没有到达该目的节点的路由,则向上层反馈不可达信息。

3　EIGRP 在战术通信网中的应用

在复杂的战术通信网中部署 EIGRP 路由协议需要根据网络特点进行不断优化,以使网络性能达到最优并满足实际应用中的不同需求。了解 EIGRP 的参数含义及设置方法,根据需求部署 EIGRP 路由协议可以使 EIGRP 更好地提供服务。本文根据 EIGRP 协议的技术特征和网络特点,提出一种战术通信网中配置 EIGRP 路由协议的基本原则。

3.1　EIGRP 的路径选择

多数路由协议在计算链路开销时只参照一项或两项指标且无法做出修改或调整,如 OSPF 链路开销仅根据链路带宽来计算,RIP 和 OLSR 根据跳数来计算。相较于这些计算方法采用的单一指标,EIGRP 的链路开销计算公式则较为全面,其采用由带宽、延迟、负载以及可靠性组成的复合度量值,同时设置 5 个参数以供用户根据需求的变化来对度量值进行调整。EIGRP 的链路开销计算公式如下:

$$\begin{aligned}\text{Metric} = 256 \times (\{&(K_1 \times \text{Bandwidth}) + \\ &[(K_2 \times \text{Bandwidth})/(256 \times \text{Load})] + \\ &(K_3 \times \text{Delay})\} \times (K_4/(\text{Reliability} + K_5)))\end{aligned}$$

其中,Bandwidth 表示路径上的最小接口带宽,Delay 表示路径中所有向外接口的延迟总和,Load 表示负载,取值范围为 1 ~ 255,值越大代表负载越高,Reliability 表示链路可靠性,取值范围为 1 ~ 255,值越大代表链路越可靠,K_1 表示基于链路上的可用带宽来计算 Metric,K_2 表示通过调整最大吞吐量来模拟可用吞吐量作为接口汇报的负载度量,K_3 表示基于延迟的路径选择,使用接口提供的单向值,K_4 和 K_5 用来计算基于丢包率和链路质量的路径选择。最高优先级的服务应该有小于 1% 的丢包率,低一级数据包的丢包率应该小于 5% ,再低一级数据包的丢包率应该小于 10% 。

当 EIGRP 路由协议进行路由选择时,会使用链路开销计算公式来计算每条链路的代价,从而选出最佳路径。EIGRP 的默认参数配置为:$K_1 = K_3 = 1$,$K_2 = K_4 = K_5 = 0$,在这种情况下,EIGRP 路由协议会根据链路的带宽和延时来计算路径开销,表 1 所示为典型接口类型对应的带宽和延时,其中,VHF 和 UHF 是战术通信网中常用的无线电台,FDDI 是光纤分布式数据接口。

表 1　典型接口对应的带宽与延时

Table 1　Bandwidth and delay for typical interface

带宽/(kb · s^{-1})	延时/ns	接口类型
9.0	500 000 000	Tunnel
9.6	500 000 000	VHF
56.0	20 000 000	56kbps
64.0	20 000 000	DS0
256.0	20 000 000	UHF
1 544.0	20 000 000	T1
2 048.0	20 000 000	E1
10 000.0	1 000 000	Ethernet
16 000.0	630 000	TokRing16
45 045.0	20 000 000	HSSI
100 000.0	100 000	FDDI
1 000 000.0	10 000	GigaEthernet
5 000 000.0	10 000	5Gig

3.2　EIGRP 在战术通信网中的配置

EIGRP 路由协议需要根据网络特点及协议特性进行合适的配置,其中,需要考虑的网络特点包括网络中移动节点的数量、节点的数据传输速率、所配置网络对路径可靠性的需求以及对网络中节点负载的预估。当网络中只有少量节点需要移动时网络拓扑较为稳定,此时不建议将链路可靠性加入路径选择依据,因为链路质量的变化会引起路径选择的反复计算,可能会导致网络无法收敛或网络不断动荡等情况。而当网络中有大量节点需要移动时,这时可视实际需求对可靠性参数进行配置,另外还需预估网络负载情况。本文提出的为战术通信网配置 EIGRP 路由协议的流程如图 4 所示,其中考虑了战场网络的多种情况,并针对每种情况根据 EIGRP 各项参数的功能给出配置方法,相较于默认配置方法,该方法可以提高战术通信网的性能,也可以使网络通信满足不同的环境需求。

计算机工程 www.ecice06.com

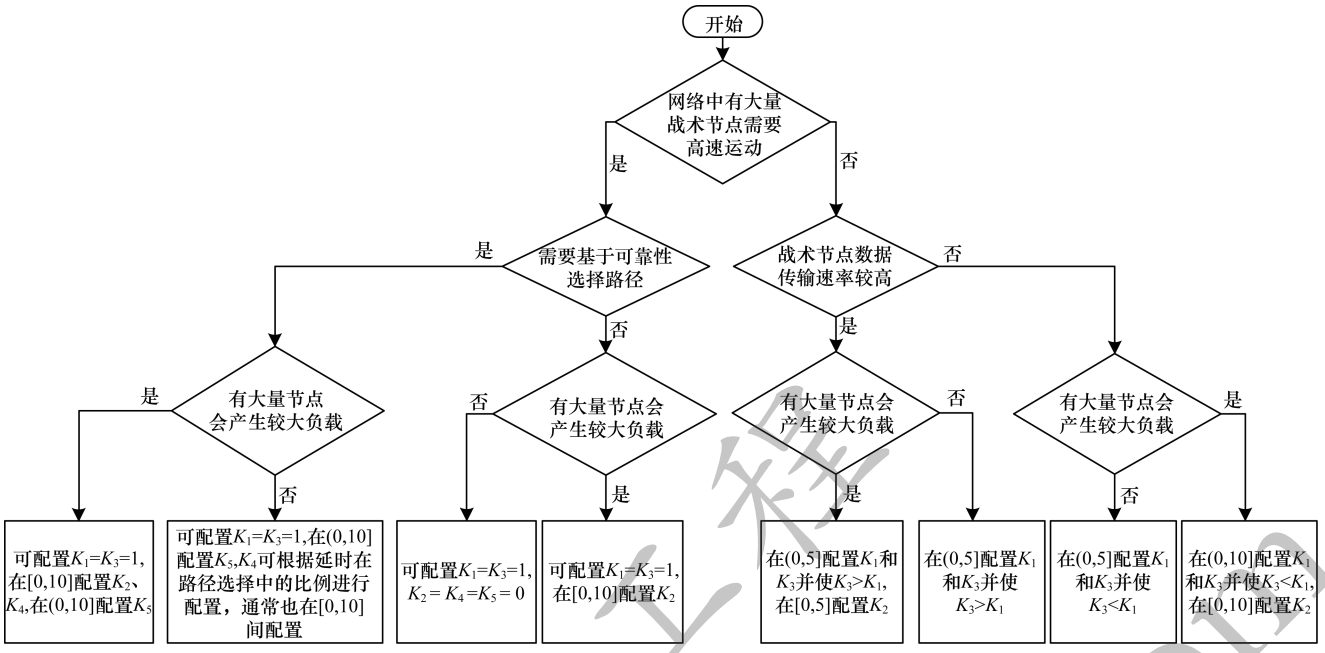

图 4 EIGRP 路由协议参数配置流程

Fig. 4 EIGRP routing protocol parameters configuration process

从图 4 可以看出,根据网络特点能够得出 EIGRP 路由协议的参数配置范围,在进行配置时有以下 3 项基本原则需要遵守:

1)链路带宽不能随意修改,因为其不仅关系到路径开销计算,还影响 QoS 等参数,EIGRP 为了减少带宽占用会抑制 EIGRP 数据包的传输,因此,其仅会占用配置带宽的 50%,减小带宽将会引起 EIGRP 收敛失败等问题。

2)延时可以随意配置,其仅影响链路开销计算而不会影响其他参数,延时的单位是微秒,因此,Delay 这一参数的值较大,设置 K_3 时需要注意这一参数的影响。

3)在开销计算公式中,带宽取值为一条路径中最小的接口带宽,在实际计算时采用的是最小带宽的倒数再乘以 10^7,以 10 Mb/s 的接口为例,其带宽计算如下:

$$256 \times K_1 \times \text{Bandwidth} = 256 \times 1 \times 10^7 / 10\ 000 = 256\ 000$$

因此,当数据传输速率越大时,K_1 与 K_3 的比值应该越低。

4 实验验证

本文实验采用当前流行的 OPNET 软件作为仿真工具,其具有完备的模型库和建模机制,并且支持自定义模型开发等功能。根据上文提出的战术通信网络中节点的逻辑模型进行建模,以 3 个以太网接口、4 个无线电台为例建立战术通信网节点仿真模型,如图 5 所示。

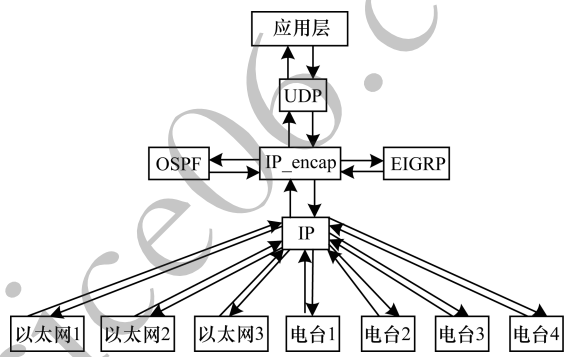

图 5 战术通信网节点仿真模型

Fig. 5 Node simulation model of tactical communication network

4.1 EIGRP 与 OSPF 路由协议的性能对比

4.1.1 参数设置

本次实验仿真参数设置如表 2 所示,场景中共有 50 个节点,分为 3 级,每个节点配有 4 部无线电台,每部电台的数据传输速率为 5 Mb/s。网络拓扑如图 6 所示,在网络拓扑中任意设置一个节点在仿真时间到达 200 s 时出现故障,以此来观察网络拓扑的收敛时间。本次实验收集的统计量具体信息如表 3 所示。

表 2 仿真参数设置

Table 2 Simulation parameters setting

参数名称	数值
节点数量	50
层级数量	3
有线网速率/(Gb·s^{-1})	10
电台数据传输速率/(Mb·s^{-1})	5
仿真时长/h	1
节点故障时刻/s	200

计算机工程 www.ecice06.com

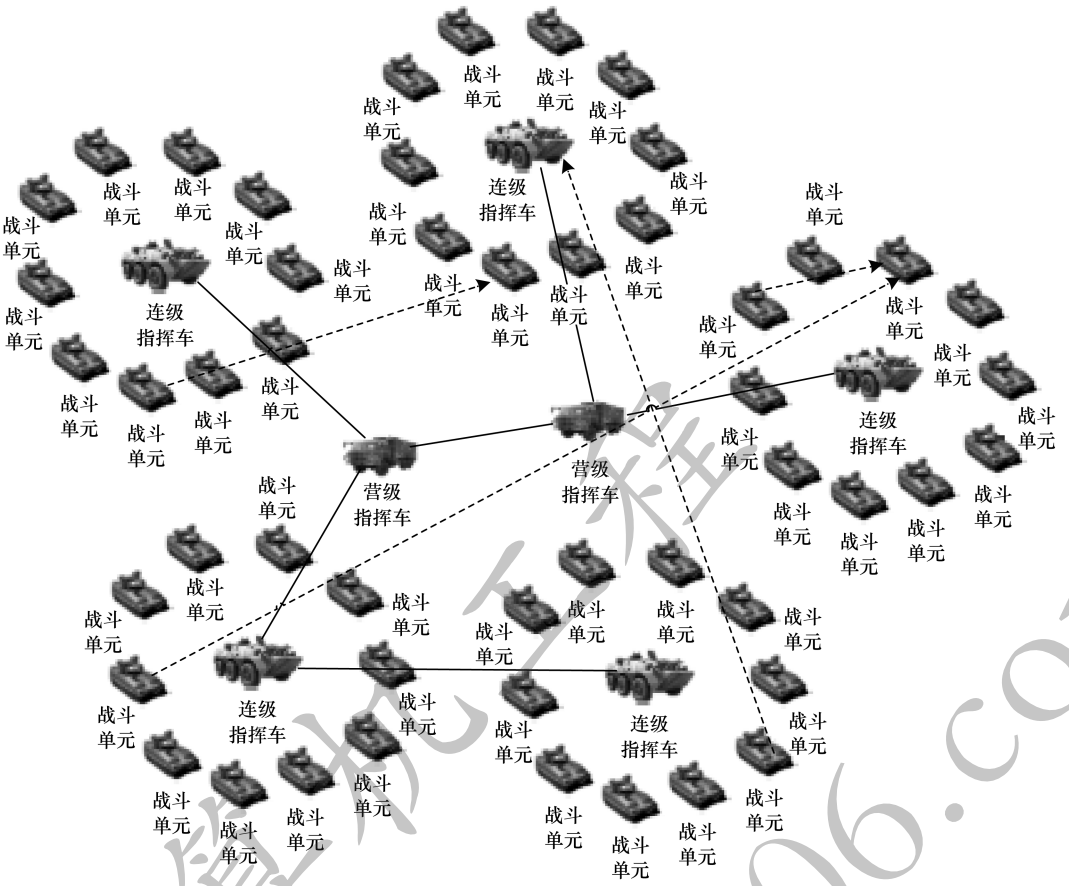

图 6　仿真网络拓扑

Fig. 6　Simulation network topology

表 3　统计量的名称及含义

Table 3　Names and meanings of statistics

统计量名称	统计量含义
路由收敛时间/s	发现网络的拓扑结构发生变化后,路由信息同步的过程所花费的总时间
路由峰值流量/(bit · s^{-1})	所有节点发送 EIGRP 消息的总量最大值
路由表大小	路由表条目的数量
端到端时延/s	数据包从源点到达终点所花费的时间

4.1.2　实验结果

在相同的仿真环境及场景下,分别采用 EIGRP 和 OSPF 路由协议进行实验与对比,具体如下:

1)路由收敛时间

从图 7 可以看出,从仿真开始到第 1 次收敛,EIGRP 所需时间是 5.014 18 s,而 OSPF 路由协议需要 11.702 70 s,200 s 左右网络拓扑发生变化,有节点失效,这时 EIGRP 路由协议仅需 0.119 92 s 即可收敛,EIGRP 路由协议在存储最佳路由时也会存储备份路由,当前路由发生故障后立即将备份路由升级为最佳路由,只有当没有备份路由时,EIGRP 路由协议才会重新计算路由。OSPF 的收敛时间约为 EIGRP 的 2 倍,网络拓扑发生变化时所需的收敛时间是 EIGRP 路由协议的 50 倍。因此,EIGRP 路由协议能够很好地适应网络的变化,为用户提供一个稳定的通信环境。

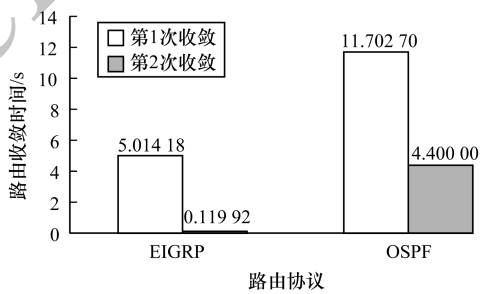

图 7　路由收敛时间对比

Fig. 7　Comparison of route convergence time

2)路由峰值流量

图 8 所示为 2 种路由协议在仿真时间内的路由消息发送量,从仿真开始至网络拓扑第 1 次收敛,2 种路由协议的路由消息发送量都达到了峰值,而 OSPF 路由协议的峰值流量远大于 EIGRP,网络拓扑收敛后 2 种路由协议的路由消息发送量基本持平,当出现网络节点故障时,2 种协议的路由消息发送量都会增大,但 OSPF 的路由消息发送量仍大于 EIGRP。因此,当网络出现故障时,OSPF 路由协议会占用更大的带宽用于网络拓扑收敛。

计算机工程 www.ecice06.com

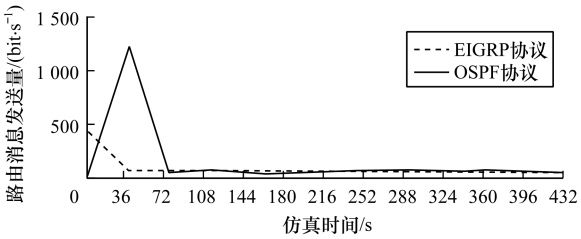

图 8 路由消息发送量对比

Fig. 8 Comparison of routing message sending volume

3)路由表大小

图 9 所示为网络拓扑中 3 个层级节点在仿真时间内的平均路由表大小。从图 9 可以看出,节点层级不同,节点的路由表条目数量不同,最低层级节点占大多数,这些节点的路由表条目数量较小,层级越高的节点路由表条目数量越多。OSPF 协议的路由表条目数量与 EIGRP 路由协议相近,但是可以看出,OSPF 中层级越高的节点,其比 EIGRP 节点的路由表条目数量大得越多。

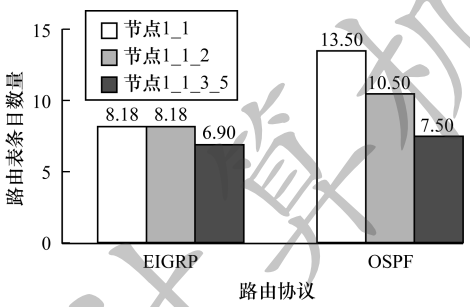

图 9 路由表大小对比

Fig. 9 Comparison of routing table size

4)端到端延时

在仿真场景中选取 2 条数据流,图 10 所示为2 条数据流分别在 EIGRP 协议和 OSPF 协议下的端到端延时变化情况。从图 10 可以看出,当数据流量较小时,OSPF 路由协议的端到端延时与 EIGRP 路由协议基本相同。但是当流量增大以后,OSPF 路由协议的延时会比 EIGRP 路由协议稍大,因为 OSPF 路由协议的路由消息发送量比 EIGRP 大很多,EIGRP 路由协议会控制路由包的发送使得带宽占用不会超过 50% 。

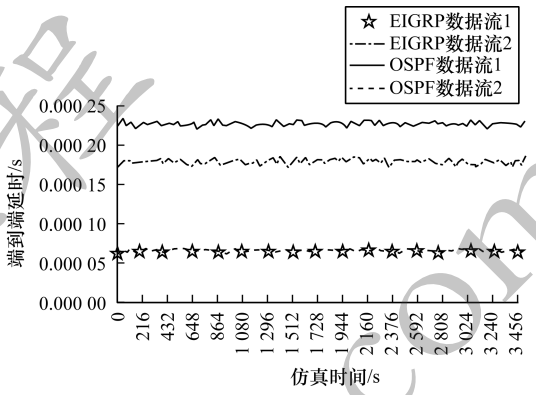

图 10 端到端延时对比

Fig. 10 Comparison of end to end delay

4.2 EIGRP 不同参数配置的选路结果

为验证 EIGRP 的不同参数配置对选路的影响,本文设计一组实验分别对网络中的节点配置不同的 EIGRP 参数,网络拓扑如图 11 所示,共分为团营连 3 级结构,设置 3 个连级节点与团级节点间的通信及 2 个营级节点间的通信。

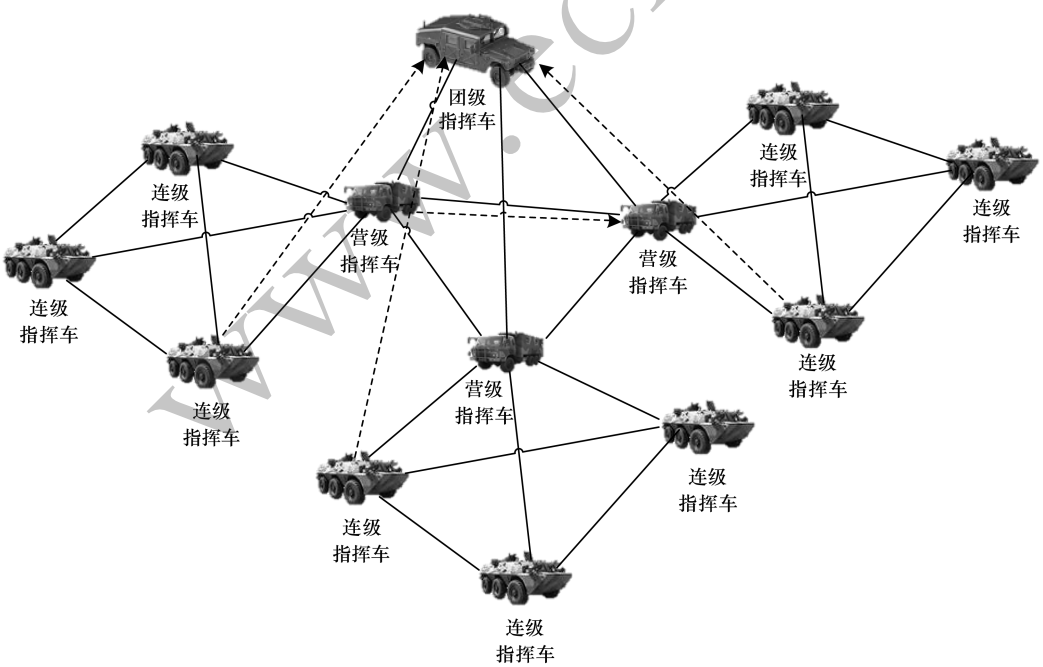

图 11 网络拓扑

Fig. 11 Network topology

计算机工程 www.ecice06.com

4.2.1　参数设置

表 4 所示为本次实验中网络拓扑的参数配置,为了体现不同的参数配置对选路结果的影响,1_1、1_2、1_3 节点与 1 节点间的配置有所不同。表 5 所示为 3 组实验的不同 K 值设置。

表 4　网络拓扑参数设置

Table 4　Network topology parameters setting

参数名称	数值
节点数量	13
节点 1_1 与节点 1 间的数据传输速率/(Mb · s^{-1})	100
节点 1_2 与节点 1 间的数据传输速率/(Mb · s^{-1})	100
节点 1_3 与节点 1 间的数据传输速率/(Mb · s^{-1})	10
节点 1_1 与节点 1 间的链路丢包率	0.4
节点 1_2 与节点 1 间的链路丢包率	0.4
节点 1_3 与节点 1 间的链路丢包率	0.1

表 5　各组的 K 值配置

Table 5　K value configuration of each group

参数	第 1 组实验	第 2 组实验	第 3 组实验
K_1	1	1	1
K_2	0	2	2
K_3	1	1	0
K_4	0	0	1
K_5	0	0	3

4.2.2　结果分析

实验结果分析如下:

1)路径选择结果

按照表 4 为网络拓扑分别配置不同的 EIGRP 参数并进行仿真,所得 3 组实验结果如图 12 ~ 图 14 所示。

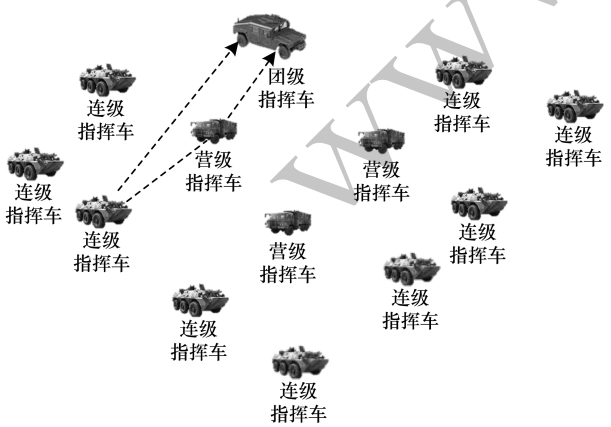

图 12　第 1 组实验结果

Fig. 12　Experimental result of group 1

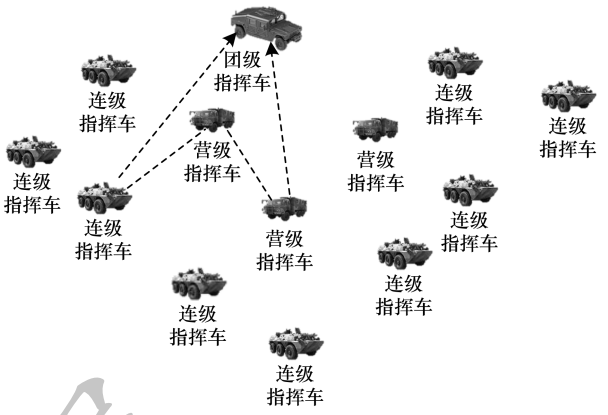

图 13　第 2 组实验结果

Fig. 13　Experimental result of group 2

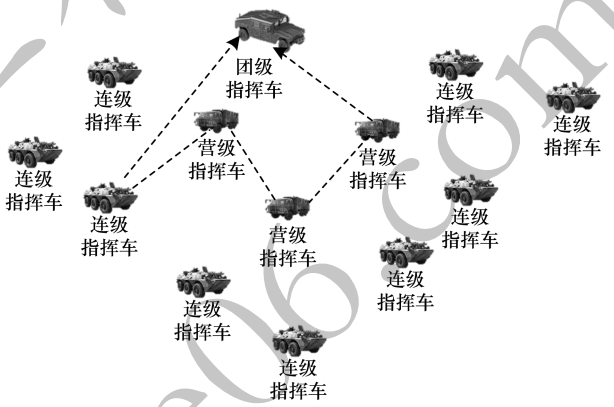

图 14　第 3 组实验结果

Fig. 14　Experimental result of group 3

第 1 组 K 值以带宽和延时作为度量进行路径选择,连级节点→营级节点→团级节点;第 2 组 K 值以负载、带宽和延时作为度量进行路径选择,其中,负载在路径选择中所占比例较高,因此,该连级节点仍然选择负载较轻的营级节点进行转发;第 3 组 K 值加入了可靠性作为路径选择依据,EIGRP 以链路质量和丢包率作为链路可靠性依据,因此,选择可靠性更高的路径。

2)链路通信质量

EIGRP 参数配置不同,路径选择结果也不同,链路的通信质量也有所差异。图 15 所示为 3 组实验的延时及平均延时抖动结果,其中,第 1 组实验的延时及平均延时抖动最低,因为节点 1_1 与节点 1 之间的数据传输速率较高且此路径是节点 1_1_1 到节点 1 之间跳数最短的路径,第 3 组实验延时最高,因为节点 1_3 与节点 1 之间的数据传输速率较低且其路径跳数较多。

计算机工程 www.ecice06.com

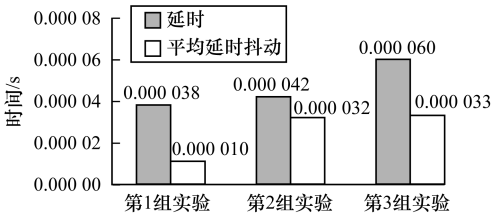

图 15 延时及平均延时抖动结果对比

Fig. 15 Comparison of delay and average delay jitter results

图 16 所示为 3 组实验的投递率结果，其中，第 1 组与第 2 组实验投递率较低，第 3 组实验投递率较高，因为第 3 组实验的参数配置中链路可靠性在路径选择中占比较大，虽然第 3 组实验选择的路径延时较高但是其更为可靠。

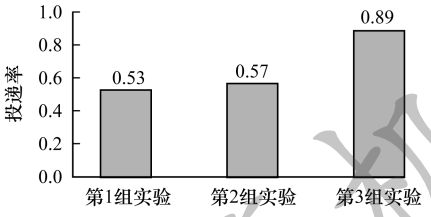

图 16 投递率结果对比

Fig. 16 Comparison of delivery rate results

5 结束语

通过分析战场环境的特点，本文提出一种战术通信网层级体系结构，并设计应用于战术通信网层级结构中的节点逻辑模型，该模型能够较好地将 EIGRP 路由协议应用于战场环境。为使用户能够在不同的战场环境中更好地配置 EIGRP 路由协议，本文提出不同情况下 EIGRP 路由协议参数配置的基本原则。通过 OPNET 仿真工具进行建模与实验，结果表明，相比 OSPF 路由协议，EIGRP 路由协议在战术通信网中具有更好的性能表现。下一步将对战场环境中的通信安全问题进行深入研究。

参考文献

[1] GUO Qian, CHEN Guoyou. Research on optimization method of network scheme evaluation of tactical communication network[J]. Fire Control & Command Control, 2017, 42(3): 36-40. (in Chinese)
郭谦，陈国友. 战术通信网组网方案评估优选方法[J]. 火力与指挥控制，2017，42(3)：36-40.

[2] SHI Rui. Research and performance evaluation of tactical Internet[D]. Xi'an: Xidian University, 2009. (in Chinese)
石睿. 战术互联网的研究及其性能评估[D]. 西安：西安电子科技大学，2009.

[3] HAN Xiurong, KANG Fengju, ZHONG Lianjiong, et al. Simulation of reactive routing protocol in tactical communication networks[J]. Modern Electronics Technique, 2010, 33(8): 73-76. (in Chinese)
韩秀蓉，康凤举，钟联炯，等. 战术通信网中按需路由协议的仿真研究[J]. 现代电子技术，2010，33(8)：73-76.

[4] WANG Haitao, SONG Lihua. Inquire into system structure and organization model in tactical communication[J]. Technology Foundation of National Defence, 2006(2): 30-33. (in Chinese)
王海涛，宋丽华. 战术通信网的体系结构及其建模探讨[J]. 国防技术基础，2006(2)：30-33.

[5] WOLLMAN W V, BARSOUM Y. Overview of open shortest path first, version 2 routing in the tactical environment[C]//Proceedings of MILCOM'95. Washington D. C., USA: IEEE Press, 1995: 152-169.

[6] SAVAGE D, NG J, MOORE S, et al. Cisco's enhanced interior gateway routing protocol[EB/OL]. [2019-07-10]. https://www.potaroo.net/ietf/all-ids/draft-savage-eigrp-05.pdf.

[7] ATEFI K, SHAHIN A H, YAHYA S, et al. Performance evaluation of RIP and EIGRP routing protocols in IEEE 802.3u standard[C]//Proceedings of International Conference on Computer & Information Sciences. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2016: 209-214.

[8] ASIGBE D F, MUSTAPHA A M, AGBESI C C M, et al. Performance analysis of interior gateway routing protocol (Eigrp) over open shortest path first (OSPF) protocol[EB/OL]. [2019-07-10]. http://www.ijstr.org/final-print/sep2016/Performance-Analysis-Of-Interior-Gateway-Routing-Protocol-eigrp-Over-Open-Shortest-Path-First-ospf-Protocol.pdf.

[9] ALBRIGHTSON R, GARCIALUNAACEVES J J, BOYLE J. EIGRP—a fast routing protocol based on distance vectors[EB/OL]. [2019-07-10]. https://escholarship.org/content/qt9h48b8x2/qt9h48b8x2.pdf.

[10] THORENOOR S G. Dynamic routing protocol implementation decision between EIGRP, OSPF and RIP based on technical background using OPNET modeler[C]//Proceedings of 2010 International Conference on Computer and Network Technology. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2010: 125-143.

[11] SHEN Yang, YU Quan. Simulation research and performance analysis of OSPF and EIGRP routing algorithms[C]//Proceedings of the Symposium on the Youth Academic Annual Meeting of the Chinese Society of Electronics and the 10th Anniversary of the Founding of the Youth Working Committee of the China Electronics Society. [S. l.]: China Electronics Society, 2002: 1058-1061. (in Chinese)
沈洋，于全. OSPF 与 EIGRP 路由算法仿真研究及性能分析[C]//中国电子学会青年学术年会暨中国电子学会青年工作委员会成立十周年学术研讨会论文集. [出版地不详]：中国电子学会，2002：1058-1061.

[12] SHEN Yang, DAI Hao, QI Wangdong. Performance analysis of OSPF and EIGRP in tactical IP networks[J]. Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2005, 6(3): 241-245. (in Chinese)
沈洋，戴浩，齐望东. 战术 IP 网络中 OSPF 与 EIGRP 的性能分析[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版)，2005，6(3)：241-245.

(下转第 230 页)

计算机工程 www.ecice06.com

(上接第 222 页)

[13] LONG Fang, HUANG Jinyong. Performance analysis between EIGRP and OSPF based on OPNET simulation[J]. Electronic Technology, 2010, 37(11): 66-69. (in Chinese)
龙芳,黄进永. 基于 OPNET 仿真的 EIGRP 和 OSPF 路由协议性能分析[J]. 电子技术, 2010, 37(11): 66-69.

[14] MA Sugang. Research and simulation of OSPF routing protocol[J]. Computer Systems Applications, 2016, 25(5): 229-232. (in Chinese)
马素刚. 路由协议 OSPF 的研究与仿真[J]. 计算机系统应用, 2016, 25(5): 229-232.

[15] MASRUROH S U, FIADE A, IMAN M F, et al. Performance evaluation of routing protocol RIPv2, OSPF, EIGRP with BGP [C]//Proceedings of 2017 International Conference on Innovative and Creative Information Technology. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2017: 16-29.

[16] JIANG Lei. Basic principle and simulation of EIGRP routing protocol[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2018, 146(24): 19-21. (in Chinese)
蒋磊. EIGRP 路由协议的基本原理与仿真[J]. 电子技术与软件工程, 2018, 146(24): 19-21.

[17] WIJAYA C. Performance analysis of dynamic routing protocol EIGRP and OSPF in IPv4 and IPv6 network[C]// Proceedings of 2011 International Conference on Informatics and Computational Intelligence. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2011: 125-134.

[18] XIN Dengsong. Research on dynamic routing protocol in battlefield environment[J]. Information and Communications, 2011(2): 138-140. (in Chinese)
辛登松. 战场环境下动态路由协议研究[J]. 信息通信, 2011(2): 138-140.

[19] WANG H T, YANG R P, WU F, et al. Research on IP address allocation of tactical communication network[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1187(4): 042105.

[20] WANG M C, CHUANG Y S, DAVIDSON S A, et al. In the design of tactical communication systems[EB/OL]. [2019-07-20]. https://www.researchgate.net/publication/325493141_In_the_design_of_tactical_communication_systems.

编辑　吴云芳

www.ecice06.com