

基于 OPNET 的多数据链组网设计与仿真

赵科莉¹, 李铮¹, 李皓², 王梦迪¹, 徐亚军¹

(1. 北京航空航天大学, 北京 100191; 2. 中国船舶工业系统工程研究院, 北京 100036)

摘要: 随着战术数据链在军事领域的广泛应用, 提出了对多种数据链的综合组网需求。针对战术应用中有限网络节点的特点, 提出基于链路优先规则的网络层 IP 映射网关综合设计, 并基于 OPNET 建立了多链综合节点模型, 最后通过 20 个节点的典型战术网络对该设计进行了仿真验证。

关键词: 战术数据链; 多链协同; 组网技术; OPNET

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2014)09-0061-04

Design and Simulation of Multi-Data Link Networking Based on OPNET

ZHAO Ke-li¹, LI Zheng¹, LI Hao², WANG Meng-di¹, XU Ya-jun¹

(1. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China;

2. System Engineering Research Institute, China Shipbuilding Industry, Beijing 100036, China)

Abstract: With the wide application of Tactical Data Links (TDLs) in military affairs, the requirements of integrated networks of multiple TDLs was proposed. Due to the limit quantity of participating nodes in tactical applications, the IP-mapping gateway in network layer based on link priority rule was proposed to achieve network integration, and an integrated multi-TDL node model was created. Finally, the scheme was verified through simulation with a typical tactical network of 20 nodes.

Key words: tactical data link; multi-data link cooperation; networking technology; OPNET

0 引言

随着数据链技术的迅猛发展, 多种型号的数据链被研制开发并运用到武器作战装备中, 同时使用多种数据链, 可以起到取长补短、互为备份和提高抗毁性的作用^[1], 这就使得多种数据链并存和综合应用成为一种必然, 从而提出多数据链协同工作的问题^[2-3], 多数据链协同工作的关键是数据转发、自动路由以及链路的配置与控制等^[4], 文献[5]综合分析了多数据链的技术难度以及解决途径。

OPNET 是当前领先的网络技术开发环境, 广泛应用于通信网络、设备、协议和应用的研究, 为开发人员提供了建模、仿真以及分析的集成环境^[6-7], 具有网络编辑器、节点编辑器以及进程编辑器, 方便对网络进行建模和仿真^[8]。

本文针对多数据链综合组网提出基于链路优先规则的网络层 IP 映射网关综合设计, 并基于 OPNET 网络仿真软件建立了多链综合的节点模型, 仿真结果表明, 该设计能较好地解决多链协同互联中数据转发、路由等问题。

1 多类型数据链协同互联设计

本文想定的联合作战背景条件下, 整个战场配置了 U/V 链、JTIDS 链、TCDL 链、卫通链以及武协链 5 种类型的战术数据链, 支持地面指挥中心、预警机、无人机、无人机地面站、卫星、作战飞机以及制导武器 7 种类型的节点。针对每种节点所支持的数据链, 配置了完备的节点模型库, 使得每种数据链均有至少 1 类节点支持; 每种节点至少支持 1 种数据链。其中, 中心节点(如预警机、地面指挥中心、作战飞机)支持多种数据链, 实现数据转发、多链综合等功能。为增强系统的抗毁性和可靠性, 对于应用层产生的不同应用数据类型, 采用多数据链配置的方式, 提供备份配置。

由于中心节点支持多种数据链类型, 本文在设计

网络层时提出多数据链、多 IP 的设计方式:为识别每一种型号的数据链,网络层不再给每个节点各分配一个 IP 地址,而是针对每个节点所支持的每种数据链各分配一个 IP 地址,并且各数据链维护本数据链的邻居表,即每种数据链组成一个子网,而中心节点位于不同数据链子网之间的交点,如图 1 所示。

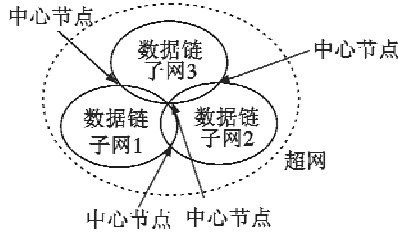


图 1 多数据链互联网示意图

Fig. 1 Multi-data link interconnection and networking

有了 IP 地址和邻居表,单个数据链子网内的信息传递即可按照普通的 TCP/IP 协议来完成。如果消息需要在不同的数据链子网之间转发,则需要中心节点根据数据链的配置规则进行相应数据链之间的切换。

考虑到实际的网络规模不会很大,节点数约为几十个,路由采用最短路径路由协议,各数据链子网维护各自的邻居表,该表的结构如图 2 所示。

邻居节点 ID	邻居中继优先级	最近一次更新时间
---------	---------	----------

图 2 邻居表

Fig. 2 Neighbor table

为提高网络效率,本文给每一类节点均设计了中继优先级参数,与目的节点连通的中心节点中,在同种数据链路子信道上所占时隙较多的中心节点优先级最高。因此,中继消息通过优先级最高的中心节点进行中继转发,从而减小消息的传输延迟。此外,邻居表具有一定的时效性,总是更新最近一次的消息;如果超过一定传输时间还未收到某节点的消息,则默认该节点已失效,在邻居表中删除该节点,自动选择新的路由路径传输。

网络层以下仍旧采用常见的处理方式,MAC 层使用 TDMA 方式接入,给每个节点分配相应的时隙,时隙分配策略采用轮询机制;物理层使用无线收发机组和全向天线的组合来收发数据。

2 OPNET 仿真验证

基于以上设计,本文使用 OPNET 网络仿真软件设计相应的仿真场景予以验证。OPNET 是一款广泛应用的网络建模和仿真工具,具有先进的建模机制、完备的模型库、完善的外部接口等优点^[9]。OPNET 采用离散事件驱动仿真,提供了 3 层建模机制^[10]:最上层为网络层,反映网络的拓扑结构;中间层为节点层,由相应的功能模块构成,反映设备特性;最底层为进程层,

用有限状态机来描述通信的各个状态。OPNET 还允许用户使用有限状态机自行开发协议,并提供了丰富的类 C 语言库函数^[11-12],可以方便地实现复杂的协议,是网络设计中常用的仿真平台。

多数据链协同互联设计的关键在于集成了多种类型数据链中心节点功能的设计和实现,而预警机节点是支持多种链路且中继优先级较高的中心节点,因此本文以预警机节点为例,介绍数据转发、多链集成与控制、路由管理等功能的设计与实现。

2.1 节点建模

预警机节点的节点模型如图 3 所示。

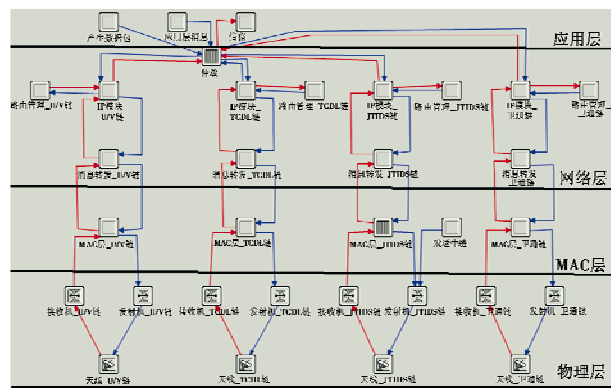


图 3 预警机节点模型

Fig. 3 Node model of Airborne Early Warning(AEW)

形式上参考了网络分层体系,采用层次化设计,主要分为应用层、网络层、MAC 层、物理层 4 层。从上到下,首先是应用层 (Application Layer),该层主要用于模拟应用层的功能,向下层产生具有多种应用、优先级的数据包,同时接收从网络层发回的数据包,对统计量进行统计;网络层 (Network Layer) 为仿真的核心部分,完成组网、邻居表更新维护等功能;媒体访问控制层 (MAC Layer),该层主要模拟 TDMA 工作方式,通过轮询分配时隙;物理层 (PHY Layer),物理层包括一组无线收发机和一个全向天线,用以收发比特流。

本节点模型显著的设计是在应用层与网络层之间增添了一个仲裁 (arbitrator) 模块,该模块实现了多种数据链的集成与管理功能:根据上层不同的应用数据类型,予以不同的数据链配置;如果消息需要在不同的数据链子网中转发,则根据目的节点所支持的数据链类型,选择相应的数据链发送。

2.2 仿真场景

仿真场景如图 4 所示,具有 20 个节点的多数据链组网的战术数据链网络。卫星节点欲向作战飞机节点发送某种需用 U/V 链传输的周期消息,由于卫星只支持卫通链,不支持 U/V 链,而作战飞机支持 U/V 链、JTIDS 链和武协链等多种数据链。因此,该信息需要中

心节点中继转发并切换传输链路:卫星首先通过卫通链与中继节点通信,然后中继节点再通过 U/V 链向作战飞机传输数据。图4中的中心节点有两种:一个地面指挥中心节点和两个预警机节点。设定地面指挥中心在每条数据链上占用时隙比预警机 AEW_0 高, AEW_0 所占用的时隙数比 AEW_1 高。所以地面指挥中心的中介优先级最高。因此,当指挥中心在网时,消息将由指挥中心中继,当某一时刻指挥中心失效后,此后的信息将由预警机 AEW_0 负责中继。

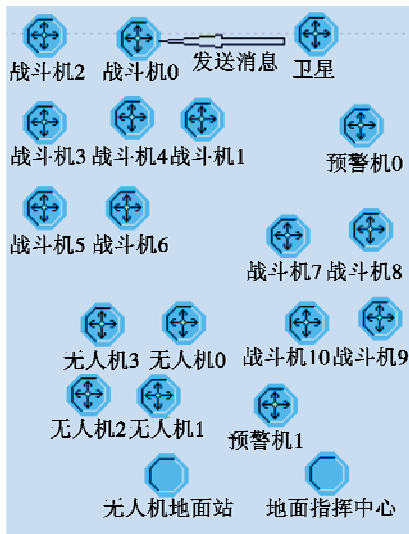


图4 典型仿真场景

Fig.4 Typical simulation scenario

配置传输的周期消息大小为 2 kbit,周期为 4 s。卫通链数据链传输速率为 4.5 kbit/s,数据链一帧长为 500 ms,一帧共有 75 个时隙,每个时隙长 6.667 ms,数据帧之间保障间隔为 0.005 s^[9]。U/V 链数据链传输速率为 24.8 kbit/s,数据链一帧长为 500 ms,一帧共有 40 个时隙,每个时隙长 12.5 ms,数据帧之间保障间隔为 0.006 s。设定在卫通链数据链的一帧上地面指挥中心所占时隙为 35 个,预警机 AEW_0 占 20 个,剩余时隙为其他节点占用。在 U/V 数据链的一帧上地面指挥中心所占时隙为 20 个,预警机 AEW_0 占用 10 个,剩余时隙为其他节点占用。

2.3 仿真结果

仿真开始之前,查看卫星节点的邻居表,发现包含指挥中心。随着仿真的执行,当指挥中心退网时,再次查看卫星中心的邻居表,发现邻居表中已经不存在指挥中心。这个结果说明,仿真过程中,节点的邻居表实时更新。图5所示为卫星节点先后发送的数据包内容比较,最初指定中继优先级最高的地面指挥中心节点(10000)中继,当指挥中心退网之后,卫星的邻居表中没有指挥中心,于是指定其中一个预警机(20100)中继。仿真结果与场景设计的结果一致。

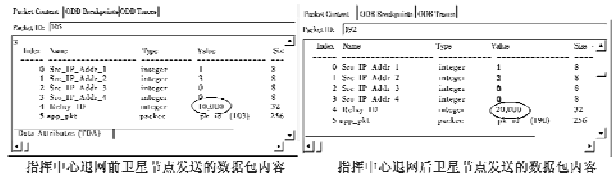


图5 卫星节点中继策略的变化

Fig.5 Change of satellite node relay strategy

为了衡量链路优先规则的网络层 IP 映射网关综合设计的优越性,本文选择对最大传输延迟指标进行分析说明。图6给出了仿真时间段内,3个中心节点分别作为中继节点的延迟率。

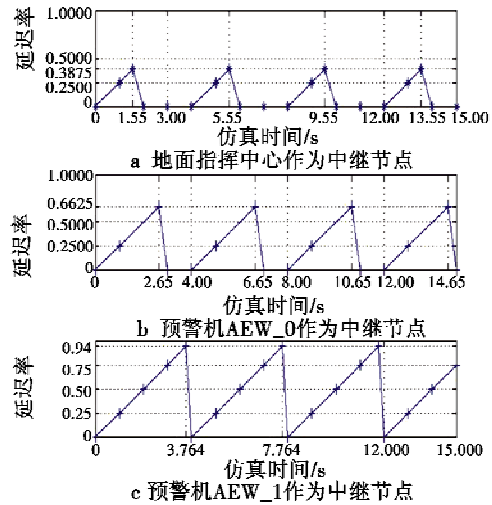


图6 延迟率曲线

Fig.6 Delay rate curve

从图6中可以看出,地面指挥中心优先级最高,所以延迟率最小。预警机 AEW_0 次之,延迟率较小,预警机 AEW_1 延迟率最大。本仿真开始时,中继节点为优先级最高的指挥控制中心。指挥控制中心在仿真开始第4 s时失效,中继节点变为优先级较高的预警机 AEW_0。说明按照链路优先规则根据邻居表,可以自动寻找路由路径。图7给出根据优先级动态选择中继节点的延迟率。

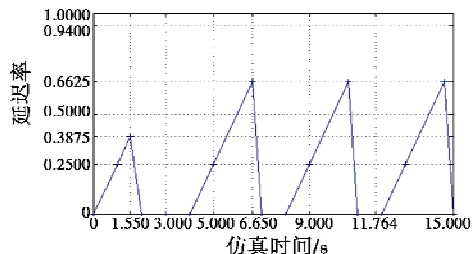


图7 动态选择中继节点的延迟率曲线

Fig.7 The delay rate curve of dynamically selected relay node

在第4 s之前采用地面指挥控制中心作为中继节点,延迟率较小,第4 s之后采用优先级较高的预警机 AEW_0 作为中继节点,延迟率较大。

3 结束语

多数据链综合组网应用是一个较为复杂的工程,本文提出了一种基于网络层多 IP 地址分配实现多数据链协同互联的设计方式,并通过仿真软件设计仿真场景予以验证。仿真结果表明,该设计方式可解决多链集成管理与路由管理等问题,并通过仿真参数的配置,得到了定性和定量的结果,对以后研究多数据链组网设计具有指导性的意义。

参 考 文 献

- [1] ZHAO C X, KOU M Y, WU J M. Task allocation for integrated tactical data links [C]//IEEE/AIAA 31st Digital Avionics Systems Conference (DASC), New York: IEEE, 2012:5E4-1-5E4-7.
- [2] 周春福,黄鹏. 多数据链综合组网应用及其信息分发与处理[J]. 舰船电子工程, 2010, 30(7):11-13, 31.
ZHOU C F, HUANG K. Information distribution and processing in comprehensive application of multi-data link [J]. Ship Electronic Engineering, 2010, 30(7):11-13, 31.
- [3] 陈水全, 谌双双. 联合作战数据链互连网重组技术[J]. 舰船电子工程, 2011, 31(7):8-10.
CHEN S Q, CHEN S S. Data link network reconstructing technology on joint operations [J]. Ship Electronic Engineering, 2011, 31(7):8-10.
- [4] 许宏泉,王春生,张海波. 海上联合作战数据链组网技术[J]. 舰船电子工程, 2008, 28(8):50-52, 58.
XU H Q, WANG C S, ZHANG H B. Data link networking technology on joint operations at sea [J]. Ship Electronic Engineering, 2008, 28(8):50-52, 58.
- [5] 李富强,许锐. 国外多种数据链综合应用研究[J]. 现代电子技术, 2010, 33(16):94-96, 100.
LI F Q, XU R. Study on synthesis application of multiple data link in foreign military [J]. Modern Electronics Technique, 2010, 33(16):94-96, 100.
- [6] 杨亚涛,陈志伟,周赛男. 基于 OPNET 软件的 UMTS 网络模型仿真及性能分析[J]. 北京电子科技学院学报, 2012, 20(4):26-29.
YANG Y T, CHEN Z W, ZHOU S N. UMTS network simulation and performance analysis based on OPNET [J]. Journal of Beijing Electronic Science and Technology Institute, 2012, 20(4):26-29.
- [7] 陈寅,宋杨,费敏锐. 基于 Simulink 和 OPNET 的 NCS 联合仿真平台的设计与开发[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(7):1518-1523.
CHEN Y, SONG Y, FEI M R. Design and development of co-simulation platform for NCS based on simulink and OPNET [J]. Journal of System Simulation, 2013, 25(7):1518-1523.
- [8] MITTAL S. OPNET: An integrated design paradigm for simulation [J]. Software Engineering: An International Journal (SEIJ), 2012, 2(2):57-67.
- [9] HOU J Y. Mobile ad hoc network of simulation framework based on OPNET [C]//International conference on computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), New York: IEEE, 2010:132-135.
- [10] 王文博,张金文. OPNET Modeler 与网络仿真[M]. 北京:人民邮电出版社, 2003.
WANG W B, ZHANG J W. OPNET modeler network simulation [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2003.
- [11] 陈敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.
CHEN M. OPNET network simulation [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [12] FUJITA K. Extending OPNET modeler with client profiles for selecting data sources in WAN [R]. Nebula Project: Final report, USA: University of Pittsburgh, 2003.

下 期 要 目

一种适用于四代机的多目标威胁评估算法
城市环境背景下多无人机快速任务规划算法
拦截机动目标的模糊变结构导引律
ARINC429 总线的故障注入测试方法
联合作战资源的再调度算法仿真
空地制导武器最优攻击弹道及跟踪控制研究
一种高性能通用处理模块的设计与实现
基于局域均值分解的永磁同步电机故障诊断仿真

考虑约束的卫星抗扰反步姿态控制
基于平方和优化的多项式模糊系统 H_∞ 控制
GNSS 组合系统用户完好性监测保护门限算法研究
H. 264/AVC 中基于编码复杂度的率失真优化算法
机载 GPS 接收机软故障检测方法的研究
离轴反射式平行光管在红外性能测试中的应用
基于改进遗传算法的滑翔弹控制参数优化设计
自适应波束形成技术在 GNSS 抗干扰中的应用