

文章编号:1001-893X(2012)06-1009-05

一种基于短波和散射通信的自组网新方案^{*}

刘晓鹏,陈西宏,胡茂凯

(空军工程大学 导弹学院,陕西 三原 713800)

摘要:结合地空导弹网络化作战对于通信网络的需求,分析了无线自组网在其中的应用。针对短波通信带宽小、时延大以及信道不稳定的缺点,将对流层散射通信引入到短波自组网中,设计了多信道的无线自组网。控制信道采用短波,数据业务信道采用散射通信,可以满足组网的灵活性和实时的业务传输。最后对短波控制网络在 OPNET 中进行设计和仿真,分析了不同路由协议的性能。所做工作可为地空导弹网络化作战的通信网络的构建提供参考。

关键词:网络化作战;短波信道;对流层散射通信;无线自组网

中图分类号:TN92;TN915 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-893x.2012.06.036

A New Ad Hoc Scheme Based on HF and Tropscatter Communication

LIU Xiao-peng, CHEN Xi-hong, HU Mao-kai

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

Abstract: According to the demand of communication network in ground-to-air missile network operation, the advantages of application of Ad Hoc are analysed. The tropscatter communication is introduced to the HF Ad Hoc and a multi-channel Ad Hoc network is designed, due to the disadvantages of HF communication, such as narrow bandwidth, long delay and instable channel. The usages of HF in control channel and tropscatter communication in data channel are enough to content the agility of network and real time communication. Finally, HF control network is designed and simulated in OPNET, and performances of different router protocols are investigated. These works will provide some of references for constructing an Ad Hoc network adapting to the air-defense missile network operation.

Key words: network operation; HF channel; tropscatter communication; Ad Hoc network

1 引言

信息时代的到来使得地空导弹武器系统必须要由平台中心战向网络中心战转变。这种转变使通信方式发生深刻变化,通信网络不但要保证数据传输的可靠、准确和快速,还应具有一定的抗干扰能力、灵活性和抗毁性^[1-2]。文献[3]针对防空作战信息化、网络化作战的需要,阐述了防空网络化作战无线自组网的客观必要性。无线自组网以其抗毁性强、

不依靠任何的固定设施、组网灵活、节点融入和撤出方便等无可比拟的优势能够更好地适应复杂的战场环境,满足防空导弹网络化作战体系中各单元对战时敏感信息的需求,对提高通信保障能力具有十分重要的意义。作为无线自组网的一个发展趋势,多信道无线自组网能够使得节点工作在不同的信道上,从而获得不同的传输范围和传输性能,能够满足不同信息的传输需求^[4]。短波自组网已经在各种作战系统中得到广泛应用,如美军的“高频特遣内部系

^{*} 收稿日期:2011-12-21;修回日期:2012-02-22

统”(HF-ITF)、高频数据网(HFDN)以及澳大利亚的“长鱼”短波自组织网络等。文献[5-6]指出对流层散射通信具有集成度高、组网灵活、便于机动的特点,相比于短波通信,在传输速率、传播可靠度、抗干扰抗截获能力等方面有很大的优势,在军事通信网中有着广阔的应用前景。

本文结合短波通信和对流层散射通信的特点,提出了一种短波、散射相结合的多信道无线自组网方案,对短波控制网的节点进行了设计并在 OPNET 中进行了网络仿真,分析了其性能。

2 多信道无线自组网系统设计

2.1 军用无线自组网

无线自组网是由系统中的无线移动通信节点通过分布式协议算法互联或组织起来的网络系统,是一种自组织、自愈合的网络,其中的无线移动节点可以自由而动态地自组织成任意临时性的网络拓扑。网络中各节点既可以是终端,又能够具有路由的功能,具有很强的抗毁性,能很好地适合战场环境,是数字化战场通信的一项重要技术。

无线自组网最初应用于军事领域,它的研究起源于美军 20 世纪 70 年代战场环境下分组无线网数据通信项目,是分组交换技术在无线传输环境中的应用,其后又在 1983 年和 1994 年进行了抗毁自适应网络(Survivable Adaptive Network, SURAN)和全球移动信息系统(Global Information Systems, GloMo)项目的研究。上述的网络形式形成了军用无线自组网技术发展的基础^[7]。目前,已有数十种以自组网为网络环境的路由协议,主要分为先应式路由、反应式路由以及混合式路由等。

将无线自组网应用于地空导弹网络化作战,可以通过无线网络使各级指控节点共享空情信息和协同决策,避免态势认知和决策计划上的盲目,为防空网络化作战提供更加快速、准确、高效的决策和控制服务。通过无线组网可提升控制系统的整体生存能力,抗击敌方的信息干扰和攻击,保持区域防空网络化作战指挥控制的整体稳定、连续和不间断,还可以通过无线网络满足对战场指挥控制移动性和实时性的要求,适应防空网络化作战灵活机动的特点。

2.2 系统设计

已进行的军用无线自组网研究中,一般是基于某一种通信手段进行,反映在网络组织上,局限在短波或超短波等单一设备的应用。具体做法可以概括为:在网络组织上预留专门的网络控制信道,或者网络控制信息和数据传输同步进行,结合信息传输需求对数据传输的路由等进行控制。

由于防空导弹网络化作战通常采用较大范围的分散布防模式,通信距离一般从几公里到几十公里甚至上百公里,通过单一的通信手段难以满足实时性的要求或者大范围超视距战术协同的需求。如果仅使用短波实现无线自组网,虽然在通信距离上能满足大范围战术协同的需要,但是由于短波传输速率及信道稳定性的限制,不能很好地满足实时性要求,网络的安全性和抗干扰能力也会降低。如果仅依靠散射通信方式进行组网,虽然在实时性和安全性等方面得到保障,但其采用的是波束极窄的定向天线,天线对准之后才能进行通信,也就意味着网络一旦需要重组则需要花费一定的时间来重新构建网络的拓扑结构。短波通信和对流层散射通信的性能对比如表 1 所示。

表 1 短波通信和散射通信性能比较
Table I Performance comparison between HF and tropscatter communication

通信方式	通信距离	越障能力	传输速率	带宽	组网	时延	抗干扰能力	可靠性	机动性
短波通信	中远	强	低	小	灵活	大	弱	低	强
散射通信	中远	强	高	大	灵活	小	强	高	强

基于上述分析,结合短波、散射通信设备的特点,两者的优势互补,依据“短波实现需求管理,散射通信完成数据传输”的思想,提出了防空导弹网络化作战中无线自组网的组织形式,即用短波实现无线自组网的控制,完成节点间信息传输需求和可用路由的计算,进而依托散射通信对数据传输进行控制。

网络中的各个节点同时具有短波电台和散射通信设备。在需要组网时,由短波实现无线自组网的控制,根据路由协议计算可用路由,确定网络的拓扑结构,继而调度相应节点的散射天线相互对准,构建散射通信网络,依托散射通信网络传输数据,达到灵活组网和实时可靠传输的双重目的。

3 短波控制网络节点协议栈

国际标准化组织(ISO)于 1981 年制定了一个网络系统结构,即开放系统互连(Open System Interconnection,OSI)模型。本文依据 OSI 模型以及 Zigbee 协议栈的架构思想,将短波控制网节点划分为 4 个层,由低层到高层依次是物理层、媒体访问控制层、网络层和应用层,如图 1 所示。



图 1 短波控制网节点协议栈
Fig.1 HF control network protocol stack

物理层:将上层传送来的比特流转换成电磁信号,通过短波电台和短波信道传递给其他电台。其主要目的是提高短波通信的传输速率、传输效能和抗干扰能力,为上层的各种应用提供高速、高可靠的短波通信保障。

媒体访问控制层:主要任务是提供一种可靠的通过物理介质传输数据的方法。在这一层,定义了数据帧的种类、帧结构、基本的数据收发和应答的方式等。

网络层:主要负责定址与寻址、确定网络的拓扑结构、路由的建立和选择、消息的转发规则等。由于短波信道的不稳定性,短波路由技术是短波自组网网络技术研发的难点,需要依据短波信道的实际环境进行路由的研究与设计。

应用层:应用层则是根据用户功能需求,定义相关功能的命令等。能够为用户提供各类业务,包括话音、文电、传真与 e-mail 等。本设计中应用层应能够通过获取的相应节点的相关信息,如位置、坐标等信息,利用这些信息实现散射通信的组网。

各个层之间相互配合,各自完成相应的功能。

4 基于 OPNET 的短波控制网的仿真与分析

在 OPNET 中对短波控制网的节点和网络进行构建并仿真。

4.1 节点模型

按照上文提出的短波控制网节点模型,在 OP-

NET 自带节点模型的基础上进行构建,使其体现短波通信的特点。一个网络节点包括物理层的无线发射机和接收机、媒体访问控制层的 MAC 模块、网络层的 IP 模块组、应用层模块等。构建的节点模型如图 2 所示。

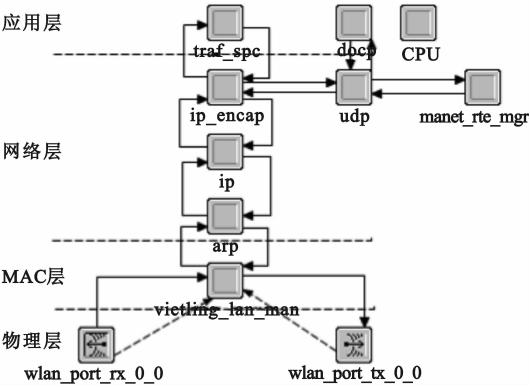


图 2 节点模型
Fig.2 Node model

4.1.1 无线发射机和接收机

对无线收发模块的管道阶段^[8]进行修改,主要修改闭合阶段和传播时延。OPNET 仿真中闭合阶段的计算是基于物理上的考虑,如障碍物、地球表面对信号的遮蔽。由于短波主要依靠天波进行传输,不考虑通信盲区的话,可认为一个节点对于其他任意节点都是可达的。

传播时延管道是用来计算分组数据在无线信道上的传播时间。OPNET 中,信号传输距离为发射与接收无线节点之间的直线距离,来计算信号传播时间。但短波远距离通信是依靠电离层反射实现的,故需要修改信号传输距离的计算方法。此外,在短波电离层反射信道中,发射端发射的电波可能通过多条路径传播到达接收端。由于不同的路径对电磁波的延时不同,信号到达接收端的时间有先有后,其最大的时间差称为多径时延。多径时延应是传播时延的一个组成部分。多径时延随传播距离的不同而动态变化,在 100 ~ 300 km 的短波线路上,由于电离层与地面之间的多次反射,多径时延可以达到 8 ms^[9]。综上分析,传播时延的计算方法为

$$\Delta T = \frac{2 \times \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2}}{C} + \Delta \tau$$

式中, d 为发射与接收节点之间的直线距离; h 为反射点高度,选用昼夜存在的 F2 层作为反射层,反射点高度固定选取 300 km; $\Delta \tau$ 为多径时延。

4.1.2 媒体访问控制模块

MAC 层模块由 OPNET Modeler 自带的 wlan mac 模块修改而得到。由于 wlan mac 模块中要求的最大传播时延为 $1\ \mu\text{s}$,不符合短波通信的特点,故将 wlan mac 对传播时延的限制进行修改,使其能满足短波通信的特点。另外,wlan mac 模块对数据速率的要求达到 2 Mbit/s 以上,故修改其数据速率为 9.6 kbit/s,使其支持短波通信的数据速率。

4.1.3 其他模块

节点模型中的其余模块选用软件自带模块。其中,rte_mgr 模块定义了节点所使用的路由协议;traf_src 模块主要实现数据业务的产生和接收;网络层模块组实现网络寻址、路由生成、路由维护功能。

4.2 网络模型

在节点模型搭建完成的基础上,搭建短波控制网网络模型,如图 3 所示。网络由 10 个节点组成,随机分布在 $200\ \text{km}\times 200\ \text{km}$ 的范围内。

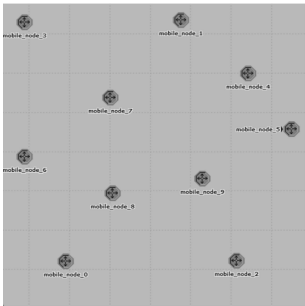


图 3 网络模型
Fig.3 Network model

4.3 仿真结果及分析

仿真参数设置如表 2 所示。

表 2 仿真参数
Table 2 Simulation parameters

参数名称	参数值
报文发送间隔/间隔	泊松分布、均值为 5 s
目的节点	随机指派
报文格式	固定长度
报文长度/bit	1 000
报文产生时间/s	100
报文结束时间	仿真结束
仿真时间/h	0.5

在不同的协议下,对协议的路由发现时间、路由开销性能评估参数进行仿真,性能比较结果如图 4、图 5 和图 6 所示。

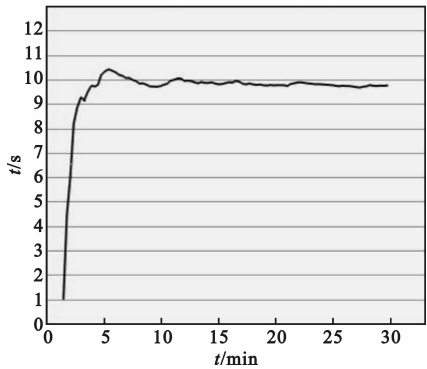


图 4 DSR 平均路由发现时间
Fig.4 Average router discovery time in DSR

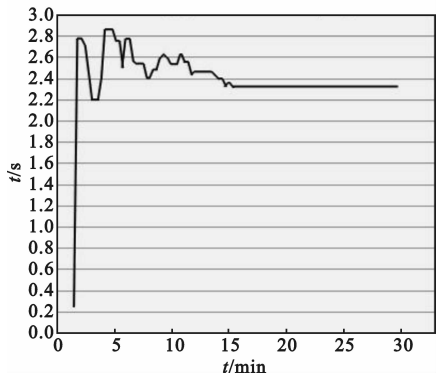


图 5 AODV 平均路由发现时间
Fig.5 Average router discovery time in AODV

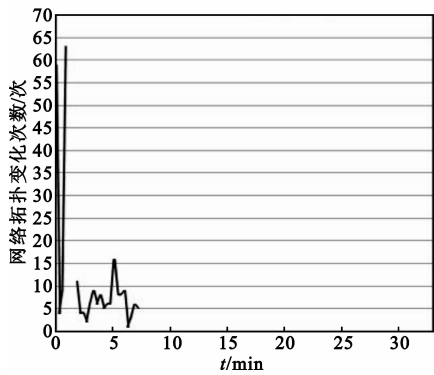


图 6 OLSR 网络拓扑变化次数
Fig.6 Topology changes in OLSR

图 4 和图 5 表示反应式路由 DSR (Dynamic Source Routing Protocol)和 AODV(Ad hoc On – Demand Distance Vector)的平均路由发现时间。反应式路由在需要传输时才启用路由发现机制,其路由开销较小。由图可以看出,DSR 的平均路由发现时间在 10 s 左右,而 AODV 的平均路由发现时间明显优于 DSR,在 2 ~ 3 s 之间。先应式路由 OLSR (Optimized Link State Routing Protocol)需要周期地广播路由信

息。由图 6 可以看出,网路拓扑结构在 7 min 内始终在变化,约 7 min 之后不再变化,网络拓扑结构才能稳定,故 OLSR 的路由开销较大,确定网络拓扑结构花费时间较长。

5 结 论

本文着眼于地空导弹网络化作战对通信网络的需求,结合实际,针对短波时延大、实时性差以及带宽小的缺点,将对流层散射通信引入到短波无线自组网中,对基于短波和散射通信的无线自组网方案进行了设计,充分发挥两种通信手段的特点,既能够弥补短波组网通信容量小的缺点,又能够提高散射组网的灵活性充分发挥散射通信的特点;既能够满足地空导弹网络化作战大范围分散布防协同的需求,又能够保证通信服务的质量,为地空导弹网络化作战的通信网络设计提供了一定的参考。

同时,重点对短波控制网的链路层协议和路由协议进行了研究,并在 OPNET 中进行了仿真。由于短波通信的窄带宽,路由开销较大的先应式路由不能应用于短波网络中,而反应式路由的路由发现时间会直接影响短波网络的时延性能。因此,针对短波通信的特点,结合反应式路由和先应式路由各自的优缺点,开发适合短波自组网的高性能路由协议将是下一步的重要研究方向。

参考文献:

- [1] 熊新平,沈丽艳,宋晋敏.防空导弹网络化作战关键技术研究[C]//防空体系论文集(第八集).北京:《现代防御技术》编辑部,2007:284-287.
XIONG Xin-ping, SHEN Li-yan, SONG Jin-min. Research of Key technology in Air-defense Missile Network Operation[C]//Paper Collection of the 8th Conference on Air-defense System. Beijing: Editorial Office of Modern Defense Technology, 2007:284-287. (in Chinese)
- [2] 吴光旭,刘铭.防空导弹网络化作战系统[J].飞航导弹,2007(11):25-27.
WU Guang-xu, LIU Ming. The System of Air defense Network Operation [J]. Aerodynamic Missile Journal, 2007 (11):25-27. (in Chinese)
- [3] 程相仁,杨宁,赵珂.区域防空网络化作战指控系统无线自组网研究[J].防空指挥学院学报,2007(12):74-76.
CHENG Xian-ren, YANG Ning, ZHAO Ke. Research on Ad Hoc of Command and Control System in Area Air defense Network Operation[J]. Journal of Air Defense Command College, 2007(12):74-76. (in Chinese)
- [4] 郑相全.无线自组网技术实用教程[M].北京:清华大

学出版社,2004:24-25.

ZHENG Xiang-quan. The Tutorial of Ad Hoc Technology [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004:24-25. (in Chinese)

- [5] 李剑,姜韬.多向散射通信系统构建及组网形式[J].计算机与网络,2011(3):93-95.
LI Jian, JIANG Tao. Research on Construction and Networking Mode of Multi-direction Troposcatter Communication System [J]. Computer and Network, 2011(3):93-95. (in Chinese)
- [6] 张涛.面覆盖通信中的多向散射通信研究[J].无线电通信技术,2006,32(2):3-5.
ZHANG Tao. Many Direction Troposcatter Correspond Research Inside of Flat Cover Correspondence [J]. Radio Communications Technology, 2006,32(2):3-5. (in Chinese)
- [7] 孙义明,薛菲,李建萍.网络中心战支持技术[M].北京:国防工业出版社,2010:72-73.
SUN Yi-ming, XUE Fei, LI Jian-ping. Technology in NCW [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2010:72-73. (in Chinese)
- [8] 王文博,张金文.OPNET Modeler 与网络仿真[M].北京:人民邮电出版社,2003:224-231.
WANG Wen-bo, ZHANG Jin-wen. OPNET Modeler and Network Simulation [M]. Beijing: People's Posts and Telecommunication Press, 2003:224-231. (in Chinese)
- [9] 吕辉,张纳温,李松.防空指挥自动化通信系统[M].西安:西北工业大学出版社,2006:52-53.
LV Hui, ZHANG Na-wen, LI Song. Air Defense Command Automatization Communication System [M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2006:52-53. (in Chinese)

作者简介:

刘晓鹏(1988—),男,山西翼城人,2010年于空军工程大学获学士学位,现为硕士研究生,主要从事战术导弹武器系统网络技术的研究;

LIU Xiao-peng was born in Yicheng, Shanxi Province, in 1988. He received the B.S. degree from Air Force Engineering University in 2010. He is now a graduate student. His research concerns the tactics missile weapon system network technology.

Email: lxp4925110@163.com

陈西宏(1961—),男,陕西蓝田人,教授、博士生导师,主要从事导弹工程和通信技术的研究;

CHEN Xi-hong was born in Lantian, Shaanxi Province, in 1961. He is now a professor and also the Ph.D. supervisor. His research concerns missileery and communication technology.

胡茂凯(1985—),男,江苏沭阳人,2010年于空军工程大学获硕士学位,现为博士研究生,主要从事战术导弹通信对抗技术研究。

HU Mao-kai was born in Shuyang, Jiangsu Province, in 1985. He received the M.S. degree from Air Force Engineering University in 2010. He is currently working toward the Ph.D. degree. His research concerns tactics missile communication countermeasure technology.