

战术互联网拓扑试验床研究^①

刘敏, 乔会东, 代鹏举, 刘旭光

(中国洛阳电子装备试验中心, 洛阳 471003)

摘要: 本文旨在探讨战术互联网拓扑试验床在组建自组织战术互联网问题上的应用潜力, 为国内相关研究提供借鉴. 文章主要介绍了美国战术互联网拓扑试验的起源、内涵和主要研究领域, 详细阐述了战术互联网拓扑试验床的含义, 并分析了两种典型战术互联网试验床—即插即用试验床和 MIO 试验床各自的应用领域. 在此基础上, 分析了战术互联网拓扑试验床的服务体系架构. 最后, 对多个研究小组提出的自组织战术互联网研究方案的内容及成果进行了归纳总结.

关键词: 战术互联网试验床; 自组织; 即插即用; MIO; 服务体系架构

Research on Tactical Networks Topology Testbed

LIU Min, QIAO Hui-Dong, DAI Peng-Ju, LIU Xu-Guang

(Luoyang Electronic Equipment Test Center of China, Luoyang 471003, China)

Abstract: In order to discuss the potential application of tactical internet testbed in ad hoc tactical network construction, and provide references to domestic correlative research, this disquisition presents the origin, connotation and main research field of tactical network topology experiments, particularly expounds the signification of tactical network topology testbed, and then introduces two typical testbeds and their applied domain, which is plug-and-play testbed and maritime interdiction operation testbed. On the basis of the research above, the tactical network topology testbed service architecture is analyzed. Finally this paper concludes the contents and research efforts of tactical network research project which is presented by several investigation groups.

Key words: tactical network testbed; self-forming; plug-and-play; maritime interdiction operation; service architecture

在 2002 年, 美国特种战司令部发起了后来被称为战术互联网拓扑(Tactical Network Topology, TNT)试验的计划, 研究人员主要来自美国海军研究生院, 后由国防安全办公室和国土安全局参加.

TNT 试验的核心是一个独特的试验床, 它可以支撑试验过程的持续发展, 支持人、网络、传感器和无人系统之间的相互适应与结合, 从而使即插即用的移动战术无人传感器系统具有通过网络到达全球远端指挥节点的能力.

本文旨在描述 TNT 试验床的体系框架, 并探讨其在组建自组织战术互联网问题上的应用潜力, 为国内

战术互联网试验床的研究提供一些思考.

1 TNT试验起源与内涵

2002 年, 为解决美军特种作战人员在作战试验中缺乏态势感知能力的问题, 海军研究生院发起了一个计划, 为各系和研究生提供基于外场环境研究的机会. 最初研究者主要是特种战司令部带领的海军研究生院的研究小组, 后来国防安全办公室和国土安全局加入进来, 并发起了一项发现和约束分析试验的新计划^[1], 这就是 TNT 试验.

TNT 试验主要有两个研究领域.

^① 收稿时间:2013-08-29;收到修改稿时间:2013-12-30

一是由特种战司令部发起的每季度一次的外场试验。参加试验的有海军研究生院的研究人员、学生以及其他大学、政府和工业部门的参与者,主要研究与战术互联网的传感器和无人航空系统相关的各种项目,如在执行跟踪和监视高价值目标(HVT)时各地理分散单元之间的协作问题。技术研究主要包括网络控制的无人航空系统、多平台无线网络、组网的战术平台、部署的操作中心、协作技术、态势感知系统、多代理结构、生物测量和无人传感器平台的自组织决策环境等。

二是两年一次的海上封锁行动(Maritime Interdiction Operation, MIO)试验,参加方有 Lawrence Livermore 国家实验室, USCG 等,并得到了国土防卫部门和能源部的支持。试验的目的是检验当前的技术和行动是否具备对大型货船的搜索和对核辐射源的封锁能力。目标是检验无线网络的数据分享能力,即在一个 MIO 想定中,共享数据传送到期望的目的地并对辐射源和生物数据进行分析。该项技术正在进行测试并为 MIO 试验提供精确的网络解决方案,使在不同地理位置的专家能够近实时地通过远程会议了解当前态势并采取适当行动。

在对网络、高级传感器和协作技术的使用上,每次 MIO 试验都会对下一个步骤进行快速反应方面的重要评估,主要包括对辐射源的搜索,舰舰、岸舰通信的建立,与指控系统网络连接的保持,与专家在辐射源威胁和生物威胁确认方面的协作^[2]等。

新型网络控制作战空间的典型特征是严重依赖于人与机器之间在战术层面的小型自组织网络,以及战术和行动指挥中心的全球分布式协作,支持传统的平面指挥控制。为评估这种新型网络的操作可行性,需要在军事行动人员、院校研究人员和政府试验室、工业开发者之间开展一定规模的有支撑的外场试验。TNT 机构互联即插即用试验床能够满足这一要求。

2 战术互联网试验床

每个季度,不断增多的海军研究生院研究人员、特种战司令部作战人员、政府、商业和院校的参与者都会到 Camp Roberts 广场或其他网络互联场所共同探讨协同配合和新技术带来的影响,主要集中在传感器—无人系统—决策者自组织网络与无人运动平台。

TNT HVT 和 MIO 试验的核心是一个独特的试验

床,基于即插即用的战术移动无人传感器系统,能实现远端专家站点的全球到达,并进行综合应用研究。

2.1 即插即用试验床

试验人员在试验床中插入他们的传感器、网络、无人机系统、气球、地面车辆、态势感知系统或作战单元,从而组成试验床的一部分或一个层次。

- 在物理层面上,试验床可延伸到所有的硬件设施,例如空中和地面无人系统。
- 参与者可集成传感器、网状网和局域网要素。
- 用户可采用延伸的广域网,连接到作战区域、远离用户的专家、作战指挥中心等。
- 传感器和无人平台可以与 TNT 态势感知环境集成在一起。
- 本地和远程作战人员可以访问试验床协作环境。

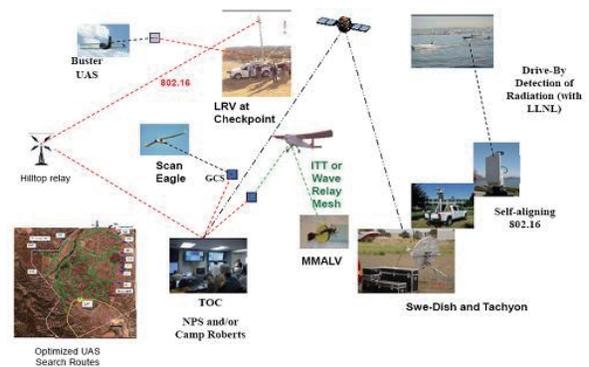


图 1 TNT 试验床的典型自组织移动网络段

如图 1 所示,通过各种固定无线网络和虚拟专网 VPN 通道,加上卫星链路和商业 IP 网络,海军研究生院和 Camp Roberts 广场之间的无线战术骨干网在不断扩展,使得偏远站点能够连接到 TNT 基础设施。该图展示了 TNT 试验床的自组织网络段,参与工作的无人航空系统与远端的陆地和海洋进行不同的组合应用,这体现了 TNT 网络设置的复杂性。

2.2 TNT MIO 08-4 试验

MIO 试验可追溯到以圣弗朗西斯科海湾为中心,由分布在美国和海外的多个国家组成的大区域试验。

TNT MIO 08-4^[3]实际上是以纽约新泽西港口为中心,由汉普顿大道附近区域的一条河流上的军事行动力量组成的。从军事行动的角度看,TNT MIO 试验床展示了一种专用无人传感器系统—决策群的独特地理分布样式。支持 MIO 段的网络基础设施如图 2 所示。

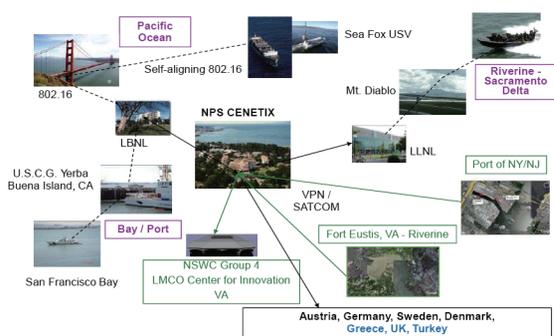


图 2 即插即用的 TNT MIO 试验床段

采用协作技术和自适应 ad-hoc 网络, TNT-MIO 试验展示了快速收集核辐射和生物数据的能力^[4], 尽管在受控条件下, 其结果仍然在允许范围内, 从而确保登船搜查人员在嫌疑人逃离可疑船只之前展开行动, 图 3 展示了行动中的 MIO 试验床, 支持在开放水域、内海、河流同时展开搜查行动, 能实时连接到专家站点, 并支持登船搜查人员间的多视频或数据交换。

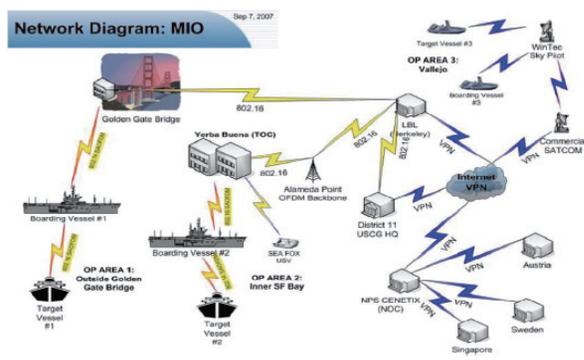


图 3 在三个地理分散区域同时实现封锁和数据共享

MIO 08-4 试验的目标是探求新的传感器、网络和态势感知方案, 为各作战力量联合搜索大型货船, 跟踪、检查和阻断小型船只提供便利, 避免不良船只对新泽西港口沿岸和汉普顿大道沿河区域的安全威胁。

试验中关于态势感知部分主要集中在探究登船搜查人员之间协作和数据分享需求, 主要依赖联合态势感知能力、国内核检测办公室联合分析中心的反馈以及河流区域军事行动的数据分享。

图 4 给出了 MIO 组网的实例. 带有传感器的巡逻船 ME1 跟随目标船只并保持 75 英尺的距离. 随着与移动基站 MOB 距离的增加, 两个载人船只(ME2 和

AMN 1-243)和一个无人水面舰艇 BB-8820 需要快速扩展 MIO 网状网, 从而确保在 12 海里的区域内侦察持续有效. 无人舰艇通过两条指控链路来遥控, 从而维持自己的中继位置. 一旦宽带无线链路到达相邻区域, 无人舰艇会自动与运动船只保持无线网状网。

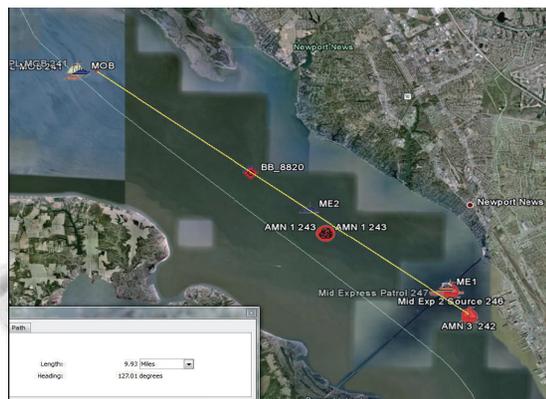


图 4 无人舰艇追击目标船只时网状网的协同扩展

3 战术互联网拓扑试验床服务体系架构

从网络理论体系的观点来看, TNT 试验床描述了一个独特的社会与信息网络跨机构研究能力, 提供了人、传感器、网络和无人系统之间相互适应和综合集成的方法. 通过试验, 将军队、学术机构、政府及工业用户组成一个 tactizens 团体, 致力于快速的系统设计, 产生了许多新的 TNT 赛博空间协同合作框架. 术语 tactizens 是对网络用户第二生命隐喻的一种反映^[5].

试验床使得模型、工具和试验过程能够在多个层次进行集成。

① 采用 IPv4 或 IPv6 地址, TNT tactizens 可在非保密 TNT 试验床的 IP 空间集成传感器和网状网要素。

② 通过在卫星或者商业 IP 云服务上的 VPN 客户端, 用户可以联接远端局域网, 包括指挥和控制中心。

③ 通过应用层交互连接, 传感器与无人舰艇可集成到 TNT 环境态势感知中. 当前选项包含一个光标指向(Cursor-on-Target, CoT)集成通道. CoT 连接关系由 Miller^[6]开发而成, 定义了一个 XML 数据图表用来交换时间敏感信息, 主要是移动目标位置的态势感知. 典型的试验床集成模型应包含每个节点集成所需的 CoT 信息路由和 CoT XML 适配器, 如图 5 所示。

④ 在人工层界面, 远程和本地操作员可以通过协同入口或端到端协同客户端程序、态势感知代理、视频会议客户端等访问试验床协同环境。

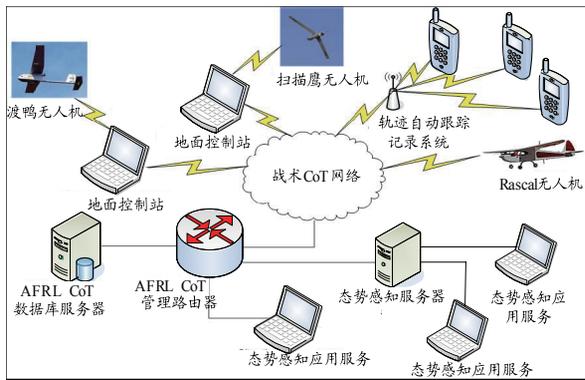


图 5 通过 CoT 通道的应用层试验床连接关系

⑤ 在物理层, 研究人员可以对飞机传感器和协同控制等进行试验, 而不必考虑网络联接问题。

通过对试验床从应用层到物理层不同层次的接入, 用户在开发可行样式方面具有独特优势。例如, 通过应用程序加载、物理移动或对设施重新校正等来管理资源; 通过抓取网络层或数据链路层的数据包来评估自组织战术互联网的性能。

但在多数实例中, 无法直接将反馈控制加到同一层上。对于战术网络中心的作战人员和本地指挥官而言, 最可行的方法是在最顶的应用层限制应用加载控制, 或者在最底的物理层控制移动节点的物理位置。这类操作能够较好地提高网络性能, 需要充足的默认知识, 例如应用程序加载如何改变或节点如何重新定位才能在特定设置下影响战术互联网的性能。而试验床能够持续进行这种适应管理样式的关键研究。

4 用于战术互联网协同开发的外场模型

从学术研究者的观点看, TNT 试验床描述了一个用于研究人与机器复杂关系的独特外场模型。在逐渐显露的战术互联网与协同环境中, 探索可行性以及与这些关系相关联的操作约束使得 TNT 试验小组能够确定战术互联网的关键要素和协同领域。表 1 展示了多个自组织战术互联网解决方案的例子, 介绍了相关研究人员的主要研究内容和研究成果。

5 结语

试验床技术是一个为了设计、分析和对大规模多技术系统进行虚拟样机制造的软件环境, 使复杂系统能快速建模、仿真和虚拟原型。战术互联网拓扑试验

表 1 战术互联网解决方案部分成果

自组织战术互联网解决方案	研究小组	内容及结果
受网络和态势感知控制的 AV, USV, UGV	Bourakov 等正在进行的研究 ^[7]	用战术网状网发送路径点来控制无人运载工具
网络目标	Bordetsky 和 Bourakov 进行的研究 ^[8]	从通用图形界面顶端进行端到端链路的配置, 天线方向自校准
八层结构的超节点	Bordetsky, Bourakov, 2006	将自组织战术互联网的节点扩展到网络中心战
传感器到无人系统的决策者	James Gateau 在论文中首次完成 ^[9]	创建军事作战人员管理信息站进行人工决策, 并使其能被无人系统代理获取
有接触网络	Strickland 和 Rideout 首次完成 ^[10] , Bourakov, Lindeman, Elman 进行后续研究	采用物理或电子接触, 通过高度适应的人工网络发送数据
超宽带网状网 UWB 以及不采用 GPS 导航	2007 年 Bourakov, Win, LLNL 小组开始研究 ^[11] , 2009 年 ARDEC 加入	将 UWB 链路集成到端到端无线网状网
基于发射的网络	TNT MIO 07-4 行动后的报告	将车/舰载传感器或无线基站节点发射到空中
小型分布单元的专用战术卫星网络	始于 2007 年 Conrad 和 Tzanos 的文章 ^[12]	始于 2007 年 Conrad 和 Tzanos 的文章 ^[12]
小型分布单元的专用战术蜂窝网	由 Bourakov 于 2008 年开始研究	为地理分散的小型单元创建专用移动蜂窝网

床由于良好的应用扩展性和技术优势, 受到越来越多的关注, 成为各国的研究焦点。战术互联网拓扑试验床已发展成为一个独特的社会和信息研究网络, 使军队、院校、政府和工业部门在设计 and 评估自组网战术互联网和相关技术时能密切协作。

从总体上看, 美国的试验床建设项目大都围绕当前最前沿的、热点的技术问题展开, 具有明确的针对性和目标性, 试验床研究在技术的广度、深度上, 基本上反映了目前全球在新型互联网研究领域的技术水

平。从技术上看,基于分片的虚拟技术和分布式重叠网络无疑是最受关注的技术热点,异构网络的互联也是试验床建设着力解决的问题。可以预期,随着试验床建设的不断深入,在不久的将来,试验床一定会在新型互联网技术和服务的研究试验中扮演越来越重要的角色,并极大的推动技术走向应用,造福社会。

参考文献

- 1 Alberts D, Hayes R. Planning: complex endeavors. CCRP Publication Series. Washington. 2007.
- 2 Bordetsky A, Dougan A. TNT maritime interdiction operation experiments: enabling radiation awareness and geographically distributed collaboration for network-centric maritime interdiction operations. Defense Technology and Systems Symposium. 2006.
- 3 TNT MIO 08-4 After Action Report. <http://cenetix.nps.edu>. Naval Postgraduate School. Monterey. 2008.
- 4 Bordetsky A, Bourakov E, Looney J, etc. Network-centric maritime radiation awareness and interdiction experiments. 11th ICCRTS. Cambridge. 2006.
- 5 Satcliffe R.. Web 3.0: Are we there yet? The Next Wave, NSA Review of Emerging Technologies, 2009, 17(3).
- 6 Miller W. Cursor-on-target. Military Information Technology Online, 2004, 8(7).
- 7 Clement M, Bourakov E. Exploring network-centric information architectures for unmanned systems control and data dissemination. 5th AIAAC. Seattle. 2009.
- 8 Bordetsky A, Bourakov, E. Network on target: remotely configured adaptive tactical network. 10th Command and Control Research & Technology Symposium. 2009.
- 9 Gateau J, Bordetsky A. Extending simple network management protocol beyond network management: A MIB architecture for network-centric services. 13th ICCRTS. 2008.
- 10 Rideout B, Strickland J. Military application of networking by touch in collaborative planning and tactical environments. Naval Postgraduate School. 2007.
- 11 TNT 07-4 QLR, Quick Lookup Report. <http://cenetix.nps.edu>. Naval Postgraduate School, Monterey. 2007.
- 12 Conrad B, Tzanos I. A conceptual framework for tactical private satellite networks. Naval Postgraduate School. 2008.

(上接第 47 页)

的会导致被监控的平台或应用的使用效率下降。所以,如何做到大量监控数据的有效采集传输、高效的计算处理,将是我们今后一段时间工作的重点,这对提高云计算平台的使用效率起着至关重要的作用。

5 结语

本文基于 OpenStack 云计算平台设计一个资源监控系统,阐述了系统的划分、功能的设计以及最终的实现。一个稳定的资源监控系统可以使云计算平台更加完整,同时更容易发现并解决平台中存在的一些问题。另外,资源监控系统也存在着会占用被监控对象一些资源等问题,这些问题将是我们未来的主要研究方向,解决现有问题得到一个更完整高效的资源监控系统。

参考文献

- 1 程辉. OpenStack 建设公有云平台实践. 2012 云计算架构师峰会. 北京. 2012. 10.
- 2 Armbrust M, Fox A, et al. Above the clouds : A Berkeley view of cloud computing. Electrical Engineering and Computer Sciences, 2009.
- 3 Zaniolas S, Sakellariou R. A taxonomy of grid monitoring system. Future Generation Computer Systems, 2005, 21(1): 163-188.
- 4 Han FF, Peng JJ, Zhang W, Li Q, Li JD, Jiang QL. Virtual resource monitoring in cloud computing. Journal of Shanghai University (Engl Ed), 2011, 15(5): 381-385.
- 5 张棋胜. 云计算平台监控系统的研究与应用[学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- 6 袁凯. 云计算环境下的监控系统设计与实现[学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2012.