

The Study of Full-Fidelity Simulative Training Based on Practical C² System

SHEN Jianjun, LI Jingjing, PANG Gaojie

Department of Information Warfare, Communication Commanding Academy, Wuhan, China

e-mail: shjj06@sina.com

Abstract: In order to solve the problems existed in traditional simulative training method of Command and Control (C²) system, such as low fidelity, realization with difficulty, without simulation of information transmission and etc, the paper proposed a new method through the adoption of High Level Architecture (HLA), IP packet intercepting and OPNET network simulation technology. The new method allows the trainees to use practical C² software directly to perform simulative training. It can not only guarantee the full-fidelity training interface and eliminate the software development cost, but also has battlefield communication network simulation for reflecting the transmission success ratio and time delay of C² information. The paper's work provides a brand-new and efficient way for C² simulative training in the future, and takes on great significance for promoting its simulative training effect.

Keywords: C² system; simulative training; full-fidelity; HLA; IP packet intercepting; network simulation

基于实际指控系统的全逼真模拟训练研究

沈建军, 李晶晶, 庞高杰

通信指挥学院, 武汉, 中国, 430010

e-mail: shjj06@sina.com

【摘要】为解决传统的指控系统模拟训练方法中存在的逼真、实现难、无信息传输模拟等问题, 本文采用 HLA 体系结构、IP 包截获处理与 OPNET 组网模拟等技术, 实现将实装指控软件直接安装到席位机中进行模拟训练的方法, 该方法不仅可以保证完全逼真的训练界面, 省去系统开发成本, 而且具有战场通信网络的模拟功能, 以反映指控信息的传输成功率、延时等效果。论文研究成果可为今后指控系统的模拟训练提供一种全新高效的途径, 并对提高其模拟训练的效果具有重要意义。

【关键词】指控系统; 模拟训练; 全逼真; HLA; IP 包截获处理; 组网模拟

1 研究目的与意义

当前, 各类武器装备与应用系统的模拟训练^[1,2,3]处于蓬勃发展之中, 其中指控系统的模拟训练是重点之一, 用于为指挥管理人员提供文电处理、网络管理等模拟训练, 以提高指挥管理人员的实战技能。指控系统模拟训练的传统方法是, 对照实装指控软件开发仿真指控软件, 仿真指控软件通过对实装指控软件界面与操作处理的模拟, 尽量与其保持“形似”。该方法存在的问题主要是:

(1) 对实装指控软件界面的模拟需要耗费很大精力, 而且不易做到非常逼真;

(2) 对实装指控软件的信息处理效果不易模拟, 尽管在仿真指控软件内部不需像实装指控软件一样实

现真实的信息处理过程, 但对于相同的信息两者的处理结果应是一致的, 为此仿真指控软件仍需要对实装指控软件的内部信息处理方法有一定了解, 这在没有软件研制部门的密切配合下, 经常是做“假”比做“真”还难;

(3) 极少考虑战场通信网络对指控信息传输的模拟, 如传输成功率、延时等, 当模拟训练是基于局域网进行时, 席位之间的文电、命令等传输“畅通无阻”, 类似于面对面交流, 这在实际战场环境中尤其是无线环境下是不可能实现的, 因此训练达不到应有的逼真效果。

针对这些问题, 本文提出一种全新高效的模拟训练方法, 即不需开发仿真指控软件, 而是将实装指控

软件直接安装到训练席位机中进行训练，这就解决了上述存在的前两个问题，其既省去了开发仿真指控软件所需的费用，而且训练界面完全逼真。对于第三个问题，则可通过对通信网进行组网模拟来实现，以模拟战场通信网络对指控信息传输的影响。

基于实际指控系统进行模拟训练是一种极为经济、高效的模拟训练途径，可为今后指控模拟训练系统的开发提供一种全新的思路。

2 基于实际指控系统的模拟训练体系结构

针对上述问题，并考虑到分布式交互模拟训练已成为当前及今后的发展趋势，HLA 高层体系结构技术已在各类模拟仿真系统中得到广泛应用，为此，对基于实际指控系统的模拟训练，采用如图 1 所示的体系结构。

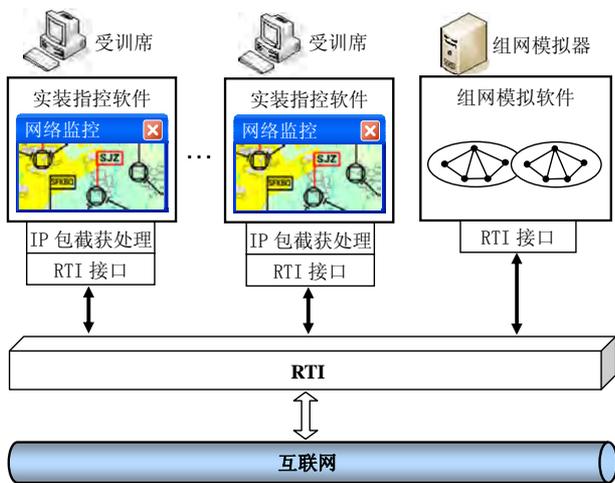


Figure 1. The architecture of simulative training based on practical C² system

图 1. 基于实际指控系统的模拟训练体系结构

(1) 各受训席与组网模拟器根据 HLA 规范，公布与订购所需的 FOM 类 (Federation Object Model)，建立起相应的公布/订购关系，并通过 RTI 接口进行 FOM 实例的交互，在 RTI 其它管理服务的支持下实现分布式模拟训练；

(2) IP 包截获处理主要是利用操作系统核心编程技术，实现一个 IP 过滤钩子回调函数，任何进出 IP 层的网络封包都会首先传入到该过滤钩子中进行过滤处理，这样就能截获实装指控软件发送的 TCP/IP 数据，包括 TCP 建链与 TCP 应答等非应用层数据，从而使得这些数据能够通过 RTI 接口发送给组网模拟

器，以进行通信传输效果的模拟；

(3) 组网模拟器实现战场通信网络对指控信息传输的模拟，如报文的传输成功率、延时等，这已成为现代作战模拟系统的基本要求。实装指控软件发出的数据经 IP 包截获处理模块截获后，首先通过 RTI 接口发送给组网模拟器，组网模拟器经过传输成功率、延时等模拟后，再通过 RTI 接口发送给目的端实装指控软件。

在图 1 所示的体系结构中，实际上还包含导调监控等席位 (未画出)，以便给出训练想定信息以及对训练过程进行监控等。该体系结构中的关键技术难点在于 IP 包截获处理与组网模拟，论文下面对其进行详细探讨。

3 IP 包截获处理

为能够利用实装指控软件进行模拟训练，首要工作就是要截获实装指控软件发送的网络数据 (包括 TCP 建链与 TCP 应答等数据)，这需要使用操作系统的核心编程技术。操作系统提供了多种方法对网络数据进行截获^[4]，图 2 为常用的三种网络数据截获方法。

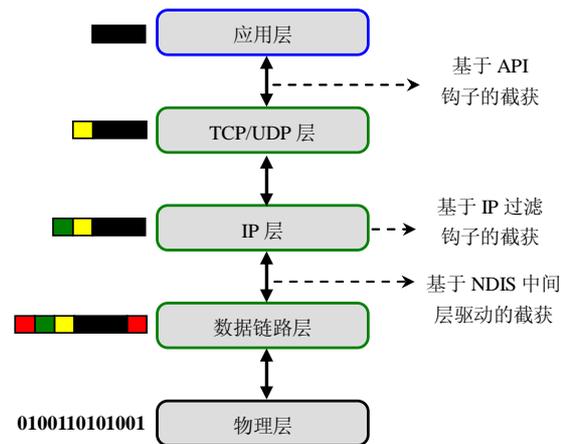


Figure 2. The intercepting methods of network data

图 2. 网络数据截获方法

上述三种网络数据截获方法各有优缺点，从软件实现以及处理的要求看，基于 IP 过滤钩子的网络数据截获方法较为适宜，该方法的优点主要是：由于截获的是 IP 包，因此只需按 IP 包格式进行处理即可，处理方法统一；可以修改 IP 头、TCP/UDP 头的绝大部分字段，能满足某些特殊处理要求，如修改 IP 地址等；能截获 TCP 建链、TCP 应答等非应用层数据。

IP 包截获处理的流程如图 3 所示，图中：

(1) “分析 IP 包”主要是根据 IP 头、TCP/UDP 头格式，从中提取出目的地址、源端口、目的端口等信息；

(2) “满足截获规则”主要是判断该 IP 包是否为实装指控软件发送，这可根据其目的地址、源端口、目的端口等信息来判断。对于不是由实装指控软件发送的数据包，则不应该截获，故指示其仍由 IP 层协议驱动程序来处理；若是，则进行截获，并将其转换成 FOM 交互类后通过 RTI 接口发送，同时指示 IP 层丢弃该数据包，以免 IP 协议驱动程序再将其发送出去；

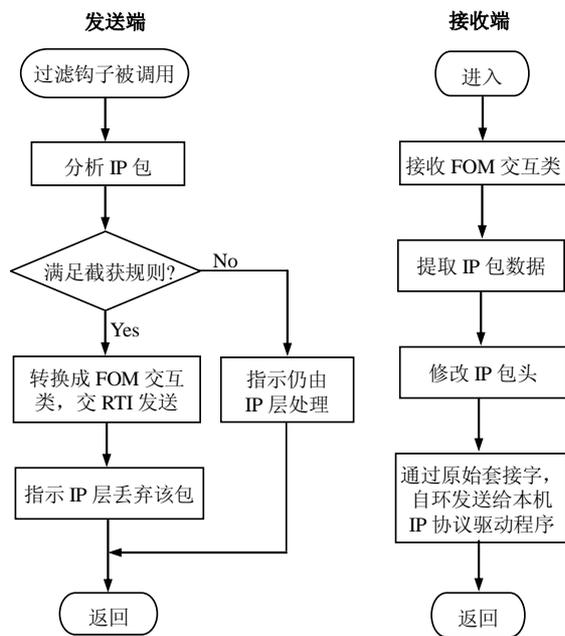


Figure 3. The flow of IP packet intercepting and processing
图 3. IP 包截获处理流程

(3)“修改 IP 头”主要是修改 IP 头中的源 IP 地址、目的 IP 地址，并重新计算 IP 头、TCP/UDP 头的校验和等；

修改源/目 IP 地址的原因是：在实装指控软件中，其地址簿中的通信地址一般是训练想定中给出的规划 IP 地址（虚拟设想的地址），如 XX 师在 XX 作战中拟用的地址，其与模拟训练系统所在的局域网 IP 地址完全不同，这样，当实装指控软件发送数据时，将产生这样的情况：IP 包中的源 IP 地址是本机局域网地址，而目的 IP 地址则是对端规划 IP 地址。当这样的 IP 包达到对端时，若不将目的 IP 地址改为该机器的局域网 IP 地址，该 IP 包将被丢弃；另外，为使目的端

实装指控软件能够识别发送者，需将源 IP 地址改为发送端的规划 IP 地址。

这里需指出的是，由于规划 IP 地址与局域网 IP 地址不在同一网段，因此在发送端，发往规划 IP 地址的数据包都将因不存在路由而被丢弃（注：IP 寻址在过滤钩子之前被调用），为此应对本机增加一条用于规划 IP 地址的路由，具体路由可以任设，只要存在一条路由就行，以保证 IP 过滤钩子能截获到数据。

(4)“通过原始套接字，自环发送给本机 IP 协议驱动程序”主要是利用原始套接字技术，将接收到的 IP 包发送给本机 IP 协议驱动程序，从而可由 IP 协议驱动程序按其内部机制逐层往上处理，最终将数据递交给实装指控软件。

4 OPNET 组网模拟

组网模拟器实现战场通信网络对指控信息传输的模拟，如数据包传输成功率、延时等。鉴于 OPNET 仿真平台的优越特性，其已在国内外许多大型军事通信网仿真分析系统中得到广泛应用，如美军的战术互联网仿真系统以及网络战仿真系统等^[5,6]，另外，OPNET 提供的 HLA 附加模块也为实现分布式交互模拟训练提供了重要途径，为此组网模拟器利用 OPNET 仿真平台来实现。

在组网模拟器中，各受训者所在的席位被映射到虚拟通信网的某一个节点上，各受训席位实装指控软件发出的报文经 IP 包截获处理并通过 RTI 接口发送给组网模拟器后，组网模拟器根据报文的源地址与目的地址，找出最佳路由，然后逐跳进行传输成功率与延时等模拟，最终再通过 RTI 接口发送给目的端实装指控软件，从而实现对指控信息传输的模拟，其示意图如图 4 所示。

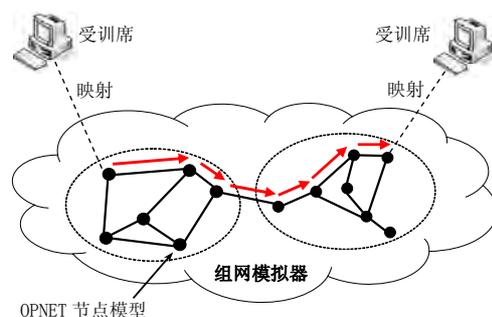


Figure 4. The demonstration of information transmission in network simulator
图 4. 组网模拟器的信息传输示意图

组网模拟器中的节点可以是各种设备模型，如终端、电台、接力机等，它们按照 OPNET 节点建模方法进行构建，图 5 为电台设备的 OPNET 节点模型。

在模拟训练中，组网模拟器所模拟的具体通信网络一般不能事先给定，而是需要由训练想定来给出。导调根据每次训练的目的，在训练想定中给出具体的通信网络情况，如网络结构、网络规模、节点数量、设备参数等，组网模拟器据此进行动态地网络仿真，而不能是事先就建立好静态的网络模型。对此，组网模拟器采用 OPNET 的 EMA (External Model Access, 外部模型访问)^[7]技术来解决，EMA 技术不使用图形化手工编辑方式，而是采用文本方式建模，即通过标准 C/C++语言的条件判断、循环等语句，对 EMA 库函数进行调用，以编写程序的方式自动地生成仿真场景，以满足模拟训练的即时性、动态性等要求。

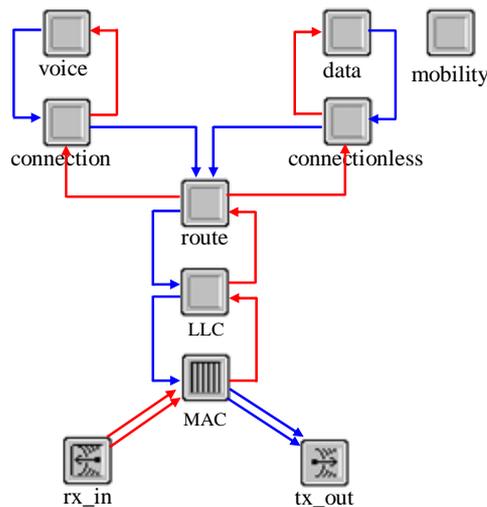


Figure 5. The OPNET node model of radio device
图 5. 电台设备的 OPNET 节点模型

由于战场通信网络的规模一般比较庞大，且传输链路一般以无线链路为主，因此这给基于 OPNET 仿真平台的组网模拟实时性带来了较大问题。为确保模拟训练的时空一致性，在组网模拟器中，除适当对各模型进行简化以外，还特别对无线链路传输处理进行了改进。对于各受训席发送的数据包，在组网模拟器中并不按照 OPNET 无线管道阶段逐个进行计算并传输，而是事先在后台计算出各条无线链路的传输成功率与延时，然后再按照蒙特卡罗 (Monte Carlo) 方法进行处理。设某链路的传输成功率为 p_i ，则重传 n 次的传输成功率为：

$$p_i(n) = 1 - (1 - p_i)^n$$

这样，当数据包的重传次数为 N 时，其传输成功率为：

$$p_i(N) = 1 - (1 - p_i)^N$$

为此，当判断一个数据包传输是否成功时，可首先产生一个随机数 p ，再根据下式进行判断：

$$\text{传输} = \begin{cases} \text{成功}, & 0 \leq p \leq p_{trans}(N) \\ \text{失败}, & p_{trans}(N) < p \leq 1.0 \end{cases}$$

而实际的重传次数 k 可根据下式来判断：

$$k = \begin{cases} 1, & 0 \leq p \leq p_i(1) \\ 2, & p_i(1) < p \leq p_i(2) \\ \dots \\ n, & p_i(n-1) < p \leq p_i(n) \\ \dots \\ N, & p_i(N-1) < p \leq p_i(N) \end{cases}$$

这样，设某链路的传输延时为 t_i ，平均重传间隔为 t_r ，则在数据包重传 k 次的情况下，该链路总的传输延时 T 为：

$$T = k \cdot t_i + (k - 1) \cdot t_r$$

在组网模拟器中，对传输途径中的每条链路都这样处理，就可得到报文最终能否传输成功，以及传输延时是多少等结果。

References (参考文献)

- [1] CHEN Gang, GAN Zhichun, SHEN Jianjun, LU Xu. Equipment Simulation Training System Based on Virtual Reality[J]. International Conference on Computer and Electrical Engineering, Thailand, 2008.12, P494-498.
- [2] CHEN Gang, XIANG Shang, JI Guanqun, DING Quan. Scene Simulation Platform Based on Data Fusion of Multiple 3D Models[J]. International Conference on Computer Modeling and Simulation, Macau, 2009.2, P342-346.
- [3] GAN Zhichun, FAN Zhaoyong, SHEN Jianjun. Research on Tactical Communication Network Simulation Training Based on CGN[J]. International Conference on Computer Modeling and Simulation, Macau, 2009.2, P352-355.
- [4] ZHANG Yue. The Detailed Demonstration of Network Program Design Instance by Visual C++[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2006.7.
张越. Visual C++网络程序设计实例详解[M]. 北京:人民邮电出版社, 2006.7.
- [5] Youcef Atamna. OPNET-based Modeling and Simulation of C4 System[DB/OL]. <http://www.modelingandsimulation.org/MandS010part3.pdf>, 2004.02.
- [6] William S.Murphy Jr, Mark A.Flournoy. Simulating Crisis Communications[A]. Proceedings of the 2002 Winter Simulation

- Conference[C], San Diego, California, 2002.12.
- [7] LI Huijie, XU Xiaohui, LIN Xiaokang. The Simulation Scenario Generation Technique of Large Size Network Based on EMA[J]. Beijing: Journal of Tsinghua University, 2006, 46(10),

P1695-1698.

李惠杰, 徐晓慧, 林孝康. 基于 EMA 的大型网络仿真场景生成技术[J]. 北京: 清华大学学报, 2006, 46(10), P1695-1698.