The Research on Communication Equipment Simulative Training Using Distributive and 3D Simulation Methods

SHEN Jianjun, GAN Zhichun, CHEN Gang

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

e-mail: *shjj06@sina.com*

Abstract: The basic requirement of communication equipment simulative training at present is distributive cooperating training and high efficient three dimension (3D) simulation. In order to meet this requirement, the paper proposed a simulative training architecture based on HLA firstly, with this architecture the distributive cooperating training can be well solved. Secondly, many methods were adopted in order to optimize 3D simulation of communication equipment, so that the real-time ability of system was improved. Lastly, a life-like flexible-cable modeling method was proposed, it resolved the cable simulation which is the most general problem in communication equipment simulative training. The paper's work has been applied successfully in practice, it also has positive and valuable effect to other non-communication equipment simulative training.

Keywords: communication equipment; simulative training; distributive; HLA; 3D optimized modeling; flexible-cable modeling

通信装备分布式 3D 模拟训练研究

沈建军，甘志春，陈刚

通信指挥学院，武汉，中国，430010

e-mail: shjj06@sina.com

【摘　要】当前通信装备模拟训练的基本要求是分布式协同训练与高效率 3D 仿真，为满足这种需求，本文首先提出了基于 HLA 的模拟训练体系结构，实现了通信装备的分布式协同训练；然后，本文采取了多种方法对通信装备进行 3D 优化建模，提高了系统运行的实时性；最后，本文提出了一种逼真的柔性线缆建模方法，解决了通信装备模拟训练中最普遍的线缆仿真问题。论文的研究成果已在实践中得到成功应用，并对其它非通信装备的模拟训练也具有积极有益的参考借鉴作用。

【关键词】通信装备；模拟训练；分布式；HLA；3D 优化建模；柔性线缆建模

1 研究背景与目的

利用实际装备进行训练，不仅容易造成昂贵设备的损坏、影响装备的有效服役时间，而且开展训练时容易受场地和气候条件的限制。而基于装备仿真技术的模拟训练[1,2]，通过运用 3D 仿真等虚拟现实技术，已成为近年来代替实际装备进行训练的重要手段。受训者在逼真的环境中操作逼真的 3D 仿真装备，不仅可有效地克服上述运用实装训练存在的问题，而且能基本上保持真实的训练效果，从而为受训者提供了一种成本低、周期短、效费比高的训练方式。

随着通信网的发展，对于通信装备的模拟训练需求变得越来越大。而从当前研究情况来看，针对通信装备的模拟训练还较少，并存在以下主要问题或难点：

（1）各通信装备基本上都侧重于独立模拟训练，缺少将各通信装备互联起来进行分布式交互模拟训练的功能，即不能进行协同组网训练，而分布式交互模拟训练是当前与今后的发展趋势；

（2）在一些大规模训练场景下，由于一台计算机上需要运行大量的 3D 通信装备模拟器，从而无法达到训练实时性的要求。为此，必须要采取多种措施对通信装备进行 3D 优化建模；

（3）对于通信装备，线缆的连接是一项最基本的操作，但线缆的 3D 建模是一个难点。由于目前许多 3D 建模工具并没有提供线缆的建模功能，因此，如何对线缆进行 3D 建模是一个需重点解决的问题。

针对上述问题，本文下面分别提出基于 HLA 的分

978-1-935068-06-8 © 2009 SciRes.

布式模拟训练体系结构、通信装备 3D 优化建模与柔性线缆建模等方法，以较好地解决通信装备的分布式 3D 模拟训练问题。

2 基于 HLA 的分布式模拟训练体系结构

通信装备经常用于组成通信网，为此对于通信装备，除进行独立的操作训练外，还需经常进行协同组网训练，以训练受训者的协同操作能力。对于协同组网训练，由于涉及到对象管理、信息交互、时空同步以及异地训练（即受训者可以不在同一个地方）等问题，因此必须要采取较好的措施来进行解决。

分布式交互仿真已成为当前计算机仿真的发展方向，而 HLA 作为新一代分布式交互仿真体系结构的标准[3]，已在世界范围内得到了广泛应用[4,5]。为符合这种发展趋势，本文采用基于 HLA 的分布式通信装备模拟训练体系结构，其如图 1 所示。

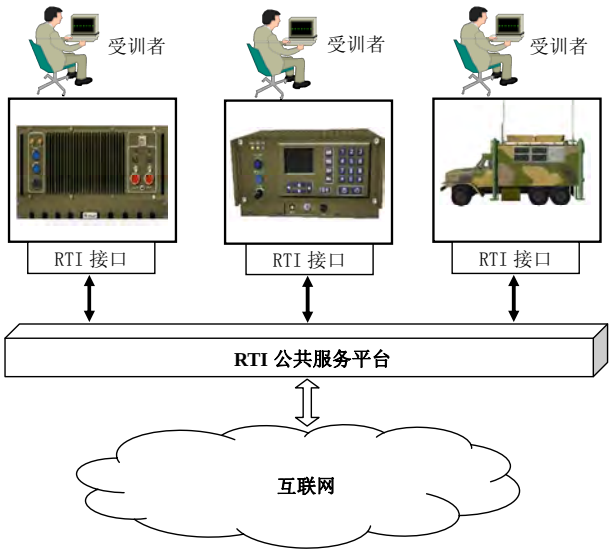

Figure 1. The distributive architecture of simulative training based on HLA

图 1. 基于 HLA 的分布式模拟训练体系结构

图中，RTI（Run-Time Infrastructure）为运行时间基础设施，其实现了 HLA 规范所规定的标准服务。各通信装备模拟器通过 RTI 接口使用 HLA 服务，以联邦成员身份加入到联邦中，并通过使用 HLA 的联邦管理服务、声明管理服务、对象管理服务、时间管理服务、所有权管理服务与数据分发管理服务，实现相互之间的协同组网通信训练。

基于 RTI 公共服务平台，各受训者操作的通信装备模拟器可以在不同的地方自由地加入或离开联邦，RTI 将负责对联邦内各联邦成员及其对象的管理，并负责只将各通信装备模拟器感兴趣的信息传递给该成员，并确保整个联邦的时空同步。

基于图 1 所示的体系结构，可以较好地实现通信装备的分布式模拟训练。

3 通信装备 3D 优化建模

对于通信装备（包括单设备与通信车）的 3D 建模，其基本原理与其他装备的 3D 建模是一致的，对此本文不再阐述，本文下面主要讨论通信装备的 3D 优化建模方法，以提高计算机的实时性。

（1）多边形精简法

在给定的帧频下，计算机能处理的多边形数量是有限的，如果所加载模型的多边形数量超出了这个限度，就会造成系统运行出现迟滞的现象，所以应首先进行多边形的精简。一是删除 3D 模型中的冗余多边形，即删除在场景中始终不会显示的多边形，以此减少多边形数量；二是删除背面多边形，很多情况下系统往往只显示前表面，剔除背面多边形是提高渲染速度的一种有效途径；三是合并邻近的多边形，以进一步减少模型中的多边形总数。

（2）实例引用法

不同的通信装备存在大量相同的部件，若使用实例引用技术，可以在不增加模型数据量的前提下，达到与单纯复制相同的视觉效果。引用不是对模型对象的简单复制，而是通过指向该模型对象的指针来达到目的。使用这种技术来构建重复出现的模型对象，在很大程度上可以提高仿真系统的实时渲染效率。图 2 为采用了实例引用技术而创建的设备三维模型。

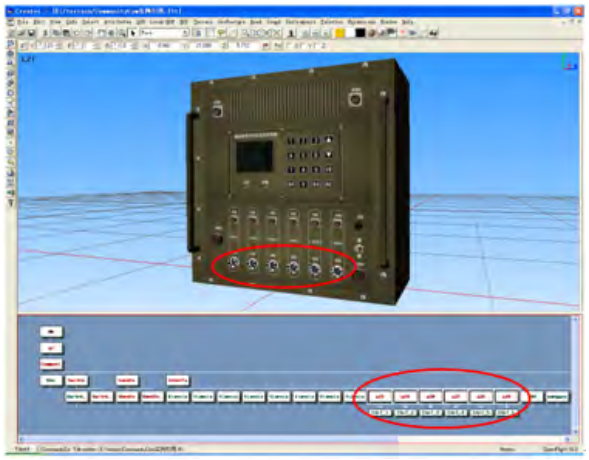

Figure 2. The device model built by instance reference technology

图 2. 应用实例引用技术创建的设备模型

（3）层级结构优化法

模型数据库的层级结构会很大程度上影响仿真系统对其进行遍历操作的效率，因此，在对其层级结构进行优化时，应尽量按照节点的级别进行组织，即按照“组、体、面、点”的顺序进行组织。此外，应尽量依照模型对象在场景中的空间关系来组织数据库结构，即按照模型对象的空间分布，将距离上邻近的模型对象对应的节点归为一组。这样，系统可以更快判断出哪些模型对象在可视范围内，从而提高渲染效率。

（4）LOD 法

通信车 3D 模型具有结构复杂、数据量庞大和各类节点众多的特点，给系统运算带来了很大的负担，影响了系统渲染的流畅程度。考虑到在模拟训练过程中，当视点距离通信车对象较远时，模型的很多细节部分用肉眼无法辨认，为此可采用 LOD 技术来动态加载不同精度模型的通信车，从而在不影响视觉效果的前提下，大幅提高系统渲染效率。

LOD（Level of Detail，细节层次）是一组代表同一对象且具有不同细节程度的模型对象的集合[6]，LOD 级别越高，模型细节程度越高，包含的多边形数量越多，反之，模型细节程度越低，多边形数量越少。在仿真运行过程中，系统会根据当前视点到模型对象的距离，来动态加载模型对象的一个 LOD 进行显示。当视点到物体的距离较远时，系统会选择较低级别的、粗糙的 LOD 进行显示；而当距离较近时，系统就会选择较高级别的、精细的 LOD 进行显示。图 3 给出了通信车的高低两种不同 LOD 级别的 3D 模型。

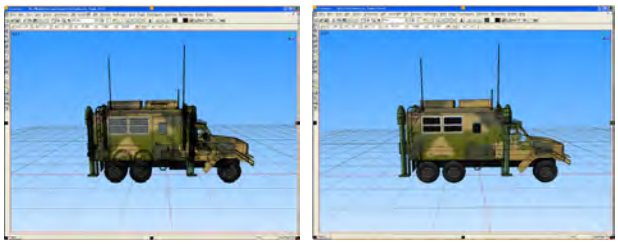

Figure 3. The two different LODs of communication vehicle model

图 3. 通信车模型的两种不同 LOD 级别

（5）基于插件形式的通信车 3D 建模法

通信车的内部由许多单设备构成，在同一类型与不同类型的通信车内，存在着许多相同的单设备。为此，可采用组件形式（以 DLL 形式加载）来构建单设备 3D 模型，然后再将它们集成载入到各类通信车内。这样做不但可大大提高开发效率，而且提高了设备模型的通用性和可移植性。

通过这种集成方式构建的通信车模型，一方面可方便地对单设备进行任意增减和调整，且不增加建模工作量；另一方面当对某单设备进行修改时，只要重构该单设备的模型组件，则装配该单设备的所有通信车模型都会随之更新。图 4 给出了以组件形式集成构建的通信车内部模型渲染效果图。

Figure 4. The inside model of communication vehicle built by component integration

图 4. 采用组件形式集成构建的通信车内部模型

4 柔性线缆建模仿真

通信装备的模拟训练涉及到大量的柔性线缆操作，柔性线缆的仿真是一项相对复杂的技术，因为柔性线缆具有易形变的特性，其曲线形态由线缆两端的位置以及线缆本身受到的重力来决定，柔性线缆的仿真目前较少有人涉及。柔性线缆可包括弹性线缆和定长线缆，其中定长线缆是柔性线缆仿真的难点，为此本文仅研究定长线缆模型。

定长线缆模型用来描述不能发生弹性形变的柔性线缆。定长线缆不能伸长或缩短，当线缆处在未张紧状态时，在重力的作用下会产生一定弧度。定长线缆建模的关键是选择合适的数学模型，其可以通过悬链线数学模型进行描述，其力学模型如图 5 所示。

定长线缆的力学模型为：长度为 τ 的弧线段，两端点分别为 H 和 T，单位弧长的线段所受重力为 ρ。取线缆最低点 A（A 在 Y 轴上），线缆上的任意一点 B，设 AB 段线缆长度为 s，则 AB 段线缆受到三个力的作用：A 点的线缆张力 f_1，其方向与 A 点切线一致，即水平向左；B 点的线缆张力 f_2，沿 B 点切线方向向上，与水平方向夹角为 θ；以及 AB 段线缆的重力

978-1-935068-06-8 © 2009 SciRes.

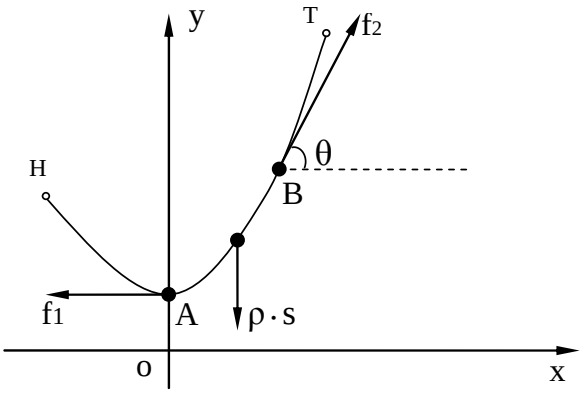

Figure 5. The mechanical model of fixed-length cable

图 5. 定长线缆力学模型

$\rho \cdot s$，方向垂直向下。AB 段线缆受到三个力作用处于静止状态，由此可得：

$$\begin{cases} f_2 \sin\theta = \rho \cdot s \\ f_2 \cos\theta = f_1 \end{cases}$$

两式相除得到：

$$\tan\theta = \frac{\rho}{f_1} s = \frac{dy}{dx}$$

设原点 O 到 A 点的距离 $|OA|$ 为 $a = f_1/\rho$，利用弧微分公式 $ds = \sqrt{1+y'^2}\,dx$，可得定长线缆的微分方程为：

$$\begin{cases} y'' = \frac{1}{a}\sqrt{1+y'^2}, \\ x = 0,\ \ y = a,\ \ y' = 0. \end{cases}$$

解微分方程得到定长线缆的曲线方程为：

$$y = \frac{a}{2}(e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}})$$

这就是定长线缆在 XOY 平面内受重力作用时所形成的曲线模型。在进行定长线缆仿真时，在该曲线函数上每隔一定间距采选一个点，在点与点之间用直线段进行近似，从而模拟出定长线缆，如图 6 所示。

由于定长线缆的曲线模型是在特定的平面坐标系（XOY）中建立的，而在三维仿真场景中，线缆所在的平面往往是不确定的，因此在进行定长线缆的绘制时，需要对线缆上各定点进行坐标的矩阵变换。根据线缆两个端点分别在特定坐标系和三维坐标系中的坐标值，可以推算出这两个坐标系之间的坐标转换矩阵，

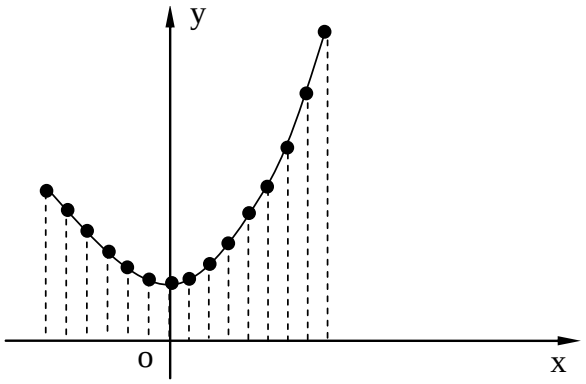

Figure 6. The simulative curve approximated with line segments

图 6. 采用直线段近似的模拟曲线

Figure 7. The modeling effect of fixed-length connecting cable

图 7. 定长连接线建模效果

从而完成各定点在三维空间中的定位。图 7 为采用上述方法创建的某通信装备定长连接线建模效果。

5 下一步工作

在论文的下一步工作中，将对通信装备的操作规则问题进行研究，如采用 Petri 网工作流建模方法等，以有效评判受训者的操作水平。另外，还将对大地形建模方法进行研究，以将 3D 通信装备与 3D 地形环境结合起来，提高模拟训练的逼真性。

References (参考文献)

[1] Patrick S Kenney, William Ragsdale, Jason R Neuhaus. Generic Spacecraft Model for Real-Time Simulation [J]. NASA Tech Briefs, 2008, 32(2):44.

[2] 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.

[3] ZHOU Yan, DAI Jianwei. The Simulation Program Design of HLA [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, Jun. 2002.6.
周彦，戴建伟．HLA 仿真程序设计[M]．北京：电子工业出版社，2002.6.

[4] Eric Biegeleisen, Mike Eason, Craig Michelson. Network in the

Loop Using HLA, Distributed OPNET Simulations, and 3D Visualizations[A]. Proceedings of the 2002 Spring SIW Conferences, 02S-SIW-176, 2002.

[5] 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.

[6] WANG Shunling. The Building of Virtual Battlefield for Tank Unit [D]. Jinan: The Shandong University, 2006.
王顺领. 坦克分队虚拟战场的构建[D]. 济南：山东大学，2006.

978-1-935068-06-8 © 2009 SciRes.