

网络虚拟环境 图形架构设计

[美]Anthony Steed
Manuel Fradinho Oliveira 著
王锐 译

Networked graphics building networked games and virtual environments



清华大学出版社

网络虚拟环境图形架构设计

[美]Anthony Steed

Manuel Fradinho Oliveira 著

王 锐 译

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书详细阐述了与网络图形学相关的高效解决方案, 主要包括 Internet 概述, 网络图形学, 套接字与中间件, 中间件和基于消息的系统, 中间件和对象共享系统, 延迟和一致性, 可拓展性, 应用程序支持问题等内容。此外, 本书还提供了相应的算法、代码以及伪代码, 以帮助读者进一步理解相关方案的实现过程。

本书适合作为高等院校计算机及相关专业的教材和教学参考书, 也可作为相关开发人员的自学教材和参考手册。

Networked Graphics

Anthony Steed, Manuel Fradinho Oliveira

ISBN: 9780123744234

Copyright © 2010 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by Elsevier (Singapore) Pte Ltd Press and Tsinghua University Press.

Copyright © 2015 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd and Tsinghua University Press. All rights reserved.

Published in China by Tsinghua University Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd.. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授予清华大学出版社在中国大陆地区 (不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区) 出版与发行。未经许可之出口, 视为违反著作权法, 将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2012-0691

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989, 13701121933

图书在版编目 (CIP) 数据

网络虚拟环境图形架构设计 / (美) 斯蒂德 (Steed, A.) 著; (美) 奥利未拉 (Oliveira, M.F.) 著; 王锐译. — 北京: 清华大学出版社, 2015

书名原文: Networked graphics building networked games and virtual environments

ISBN 978-7-302-38533-2

I. ①网… II. ①斯… ②奥… ③王… III. ①网络图形学 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 271147 号

责任编辑: 赵洛育

封面设计: 刘 超

版式设计: 魏 远

责任校对: 王 云

责任印制: 王静怡

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京密云胶印厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 203mm×260mm 印 张: 26.25 字 数: 688 千字

版 次: 2015 年 6 月第 1 版 印 次: 2015 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000

定 价: 89.00 元

译者序

随着虚拟现实设备和互联网行业应用的迅速风靡和普及,将这两者结合在一起的创意和产品也早已不是什么新鲜事。各种基于先进的图形渲染方式实现的网络游戏层出不穷,其精美的画面和丰富的体验也让很多人流连其中。而网络图形化游戏自问世以来,其形式也经历了多次变革,从必须下载巨大的安装包的PC端游戏的形式,到只需要打开常规浏览器就可以联机对战的网页游戏形式,再到如今只要通过智能手机就可以接入和运行的手机在线游戏。在全球互联网规模日益宏大的今天,这种娱乐形式无疑蕴含着巨大的商机。

除了高逼真度的图形渲染技术的支持,近些年来,随着OculusVR等低成本虚拟现实头盔的推出,有头脑的创业者和投资者也开始考虑将这类硬件设备和非传统的输入设备(例如体感摄像头、手环等)与互联网的商业模式相结合,给远在世界各地的使用者提供全新的交流方式。而上述这一切都需要有图形学专业背景的研究和开发人员介入,针对不同的网络环境,客户端的配置情况,网络延迟的问题与改善方案,交互的频繁程度和安全性,以及收费和盈利方式等诸多方面去考虑,从而实现能够满足巨大规模的客户端同时在线的互动场景,以满足游戏娱乐,或者科学研究和仿真方面的需求。

而本书介绍的正是各种复杂网络环境下的图形学应用开发与架构设计方法。其中不仅包含了对于一些基础网络概念的介绍,对于常见的中间件工具的范例说明,也包含了实用的网络图形式开发引擎的基本内容和构建过程的叙述,并且针对一些在线应用中经常会遇到的问题,例如延迟、同步操作、在线更新等,做了启发式的讲解。总体上来说,这本书更适合于准备从事互联网相关应用开发的图形学工作者,其中给出的互联网编程的知识以及一些疑难问题的处理之道,对于他们来说都是很有借鉴和参考意义的。

本书的知识结构和体系虽然来自于作者多年来的积累,但是对于全新的网络生态环境和用户与应用的特点而言,读者可将自己的看法与实际实践当中的经验相结合,才会有更大的收获。

鉴于译者水平有限,时间也比较仓促,本书翻译的内容如有晦涩难懂或者词不达意之处,敬请读者谅解和指正。

王 锐

目 录

第 1 部分 基 础

第 1 章 概述	3
1.1 什么是 NVE 和 NG.....	3
1.2 共享虚拟环境的幻象.....	4
1.3 一些历史.....	5
1.3.1 Internet	7
1.3.2 模拟器.....	12
1.3.3 Multiuser dungeons	16
1.3.4 电子游戏.....	17
1.3.5 虚拟现实系统.....	22
1.3.6 MMORPG	24
1.3.7 社交空间.....	27
1.4 研究软件架构.....	29
1.4.1 软件的作用和责任.....	31
1.4.2 与其他网络代码的区别.....	31
1.5 架构.....	32
参考文献.....	33
第 2 章 基础知识	37
2.1 类鸟群 (boids)	37
2.1.1 Boid 规则.....	38
2.1.2 独立实施.....	39
2.2 分布式类鸟群: 概念.....	42
2.3 分布式类鸟群: 实施.....	43
2.3.1 修订的模拟器和数据模型.....	44
2.3.2 网络的概念.....	45
2.3.3 网络协议.....	46
2.3.4 网络组件的实现.....	47
2.3.5 发送 UDP 数据包.....	48
2.3.6 发送 TCP 数据流	51
2.4 镜像.....	54
参考文献.....	58

第 3 章 Internet 概述	59
3.1 Internet	59
3.2 应用层 (Application)	62
3.2.1 应用层协议	63
3.2.2 应用程序的 QoS	64
3.2.3 常见的应用程序和端口	64
3.2.4 RFC	65
3.2.5 DNS	66
3.2.6 Telnet 和 HTTP	67
3.3 传输层 (Transport Layer)	69
3.3.1 UDP 的实现	69
3.3.2 TCP 的基础知识	72
3.3.3 TCP 的可靠性	73
3.3.4 打开和关闭 TCP 连接	79
3.3.5 TCP 中的流量控制和拥塞避免	81
3.4 网络层 (Network Layer)	82
3.4.1 网络地址转换	84
3.4.2 IP 数据包	85
3.4.3 Ping、traceroute 和 ICMP	89
3.4.4 Internet 上的路由	91
3.4.5 DHCP	92
3.5 链路 (Link) 和物理层 (Physics Layer)	93
3.5.1 以太网 (Ethernet)	94
3.5.2 对比	95
3.6 未来网络设备	95
3.6.1 组播传输 (Multicast)	96
3.6.2 网络 QoS	97
3.7 总结	99
参考文献	99
第 4 章 更进一步	101
4.1 类鸟群	101
4.1.1 架构	102
4.1.2 协议	103
4.1.3 重构代码库	103
4.2 简单的点对点等模式	105
4.2.1 系统架构	105
4.2.2 数据模型	106
4.2.3 网络	108

4.2.4 协议.....	109
4.3 主控者的点对点.....	111
4.3.1 系统架构.....	113
4.3.2 数据模型.....	113
4.3.3 网络.....	114
4.3.4 协议.....	115
4.4 会合服务器的点对点.....	118
4.4.1 系统架构.....	119
4.4.2 数据模型.....	120
4.4.3 网络.....	121
4.4.4 协议.....	121
4.5 客户端/服务器.....	123
4.5.1 系统架构.....	123
4.5.2 数据模型.....	125
4.5.3 网络.....	125
4.5.4 协议.....	127
4.6 多播.....	128
4.6.1 系统架构.....	130
4.6.2 数据模型.....	130
4.6.3 网络.....	131
4.6.4 协议.....	133
4.7 扩展.....	134
4.7.1 协议设计.....	134
4.7.2 网络补偿.....	135
4.7.3 规模.....	135
4.7.4 二进制协议.....	135
4.8 结论.....	136
参考文献.....	136

第2部分 基本原理

第5章 网络图形学中的问题.....	139
5.1 独立系统的架构.....	139
5.1.1 引擎和引擎框架.....	141
5.1.2 模块.....	143
5.1.3 内容.....	144
5.1.4 行为.....	145
5.2 网络的职责.....	145

5.2.1 设备 I/O 共享	146
5.2.2 数据模型共享	147
5.2.3 命令/事件流	148
5.2.4 规模与应对	149
5.3 初始化	149
5.4 服务器和对等机的响应	151
5.5 关键和非关键	152
5.6 同步或非同步	153
5.7 所有权和锁	154
5.8 持久性	154
5.9 延迟与带宽	155
5.10 总结	155
参考文献	156
第 6 章 套接字与中间件	159
6.1 中间件的作用	159
6.2 低层次套接字 API	160
6.2.1 主函数	160
6.2.2 命名辅助函数和选项	162
6.2.3 网络字节顺序	164
6.2.4 范例	165
6.2.5 套接字使用模式	169
6.2.6 Windows	170
6.2.7 同步 I/O	170
6.2.8 评论和探讨	172
6.3 C 和 C++ 网络中间件	173
6.3.1 HawkNL	173
6.3.2 SDL_Net	173
6.3.3 ACE	175
6.4 结论	177
参考文献	177
第 7 章 中间件和基于消息的系统	179
7.1 基于消息的系统	179
7.2 DIS	179
7.3 X3D 和 DIS	182
7.3.1 X3D 基础	183
7.3.2 数据流和动画	184
7.3.3 脚本和接口	187

7.3.4 VRML/X3D 网络策略	191
7.3.5 X3D 和 DIS 方案.....	194
7.4 X3D、HawkNL 和 DIS.....	195
7.4.1 发送 DIS 数据包	195
7.4.2 接收 DIS 数据包	198
7.5 结论.....	199
参考文献.....	200
第 8 章 中间件和对象共享系统	203
8.1 对象共享系统.....	203
8.2 RakNet	205
8.3 使用对象共享的类鸟群.....	207
8.3.1 主应用程序.....	213
8.3.2 讨论.....	217
8.4 一般的对象共享.....	217
8.4.1 共享策略.....	217
8.4.2 可见性和采样率.....	218
8.5 所有权.....	218
8.6 场景图、对象共享和消息.....	223
8.7 结论.....	224
参考文献.....	225
第 9 章 其他网络组件.....	227
9.1 远程方法调用.....	227
9.1.1 RPC	228
9.1.2 XML-RPC	234
9.1.3 CORBA	235
9.1.4 讨论.....	236
9.2 DIVE.....	237
9.2.1 DIVE 概述	237
9.2.2 DIVE 实体	240
9.2.3 事件.....	244
9.2.4 脚本和事件作用域.....	247
9.2.5 网络.....	248
9.2.6 讨论.....	249
9.3 系统架构.....	249
9.4 结论.....	251
参考文献.....	252

第3部分 实际系统

第10章 需求	259
10.1 一致性	260
10.1.1 系统角度	260
10.1.2 合理性和公平性	261
10.1.3 一致性—吞吐量的权衡	263
10.2 延迟和抖动	263
10.2.1 网络延迟的来源	264
10.2.2 抖动	265
10.2.3 时钟和延迟与抖动的测量	267
10.2.4 用户容忍度	269
10.2.5 在特定的系统中延迟的影响	271
10.3 带宽	272
10.3.1 测量法	273
10.3.2 交通模式	273
10.3.3 阻塞	277
10.4 互联网的状态	277
10.5 连接性	279
10.6 案例研究: Burnout™ Paradise	281
10.6.1 汽车“力学”	282
10.6.2 游戏阶段和时间同步	283
10.6.3 游戏主机和对等网络	285
10.7 结论	285
参考文献	285
第11章 延迟和一致性	293
11.1 延时的影响	293
11.2 哑客户端 (dumb client) 和锁步 (lockstep) 同步	296
11.2.1 哑客户端	296
11.2.2 锁步同步	297
11.3 保守的模拟	298
11.4 时间	299
11.5 乐观的算法	302
11.6 客户端的超前预测	303
11.7 外推算法	306
11.7.1 基本航位推算	307
11.7.2 航位推算的变化方法	311

11.8 插值、播出延迟及本地延迟	312
11.9 本地知觉过滤器	317
11.10 暴露延时	320
11.11 结论	321
参考文献	321
第 12 章 可拓展性	327
12.1 服务架构	328
12.1.1 意识	328
12.1.2 队列、团队和服务的体系结构	329
12.2 兴趣管理概述	332
12.3 空间模型	335
12.3.1 区域模型	335
12.3.2 动态空间模型	337
12.3.3 能见度模型	338
12.4 交互规范和兴趣管理	341
12.4.1 兴趣的表达	341
12.4.2 兴趣管理	343
12.4.3 分布式兴趣管理的实例	344
12.5 从网络体系结构分离的兴趣管理	347
12.5.1 消息路由和消息过滤	347
12.5.2 作为管道过滤	348
12.5.3 路由和过滤的例子	349
12.5.4 网络层的委托组通信	350
12.6 服务器分区	351
12.6.1 服务器任务和静态分区	352
12.6.2 接缝和切换	353
12.6.3 负载平衡和动态分区	355
12.7 组通信服务	358
12.7.1 反射和隧道	359
12.7.2 自动覆盖多播	360
12.7.3 点对点通信的 gossiping	360
12.7.4 特定组通信的路由服务	361
12.8 点对点	361
12.8.1 非结构化的点对点系统	362
12.8.2 结构化的对等网络系统	363
12.8.3 使用 DHT 的点对点支持	365
12.8.4 本地兴趣系统	366
12.8.5 自由更新的区域和边界集合	369

12.9 结论.....	371
参考文献.....	372
第 13 章 应用程序支持问题.....	383
13.1 安全和欺骗.....	383
13.1.1 客户端攻击.....	384
13.1.2 网络级别.....	386
13.1.3 服务器端.....	388
13.1.4 社会性.....	388
13.1.5 反响.....	389
13.2 二进制协议和压缩.....	389
13.2.1 二进制编码.....	389
13.2.2 压缩.....	391
13.3 流媒体.....	392
13.3.1 音频和视频.....	392
13.3.2 几何体和动画.....	394
13.3.3 混合和分组.....	397
13.4 重提协议决策.....	397
13.5 持久性和分层服务.....	398
13.6 集群.....	399
13.6.1 多显示系统.....	399
13.6.2 大规模模型.....	401
13.7 瘦客户机.....	402
13.8 结论.....	402
参考文献.....	403

基础

I

第 1 部分主要介绍互联网发展概况，讨论源自客户端的网络基础知识以及互联网的工作原理。

第 1 章 概述

第 2 章 基础知识

第 3 章 Internet 概述

第 4 章 更进一步

第 1 章 概 述

在过去的四十年里，互联网已经彻底改变了多种形式的合作活动。电子邮件和最近的即时通信启用了远程人与人之间有效的异步协作。和大型组织一样，万维网（WWW）被使用于个体的不同发布模式的范围内。最近，互联网已经实现了人与人之间新类型的实时同步通信。同步协作工具，包括视频和音频工具，也包括网络游戏（NG）和网络虚拟环境（NVE）。在 NVE 和 NG 中，用户可以与商业伙伴分享一个虚拟空间进行头脑风暴，或者沉浸^①在一个虚幻的世界并和朋友一起探索。

这本书描述了这些 NG 和 NVE 背后的数据通信技术。尽管我们目前会介绍一些背后的互联网发展的历史背景，但是由于它们的普遍性，重点放在网络技术上。本书采用细致的方法，从网络的基础知识开始，讲解到服务器之间大量的玩家的分区策略为止。因此，我们一直在努力为不同类型的读者写这本书：对网络游戏及仿真方面有兴趣的学生，入门的软件工程师，参与完成 NG 的游戏开发者，有兴趣学习更多游戏技术的狂热游戏爱好者和对一般背景文字有兴趣的研究人员。

在此简介中，我们想呈现本书的大纲并就此给出一些有关主题的历史背景。

1.1 什么是 NVE 和 NG

NVE，我们指的是在某种意义上分布在网络上的虚拟环境的系统。也就是说，通常情况下有几台计算机，每运行一个软件，就与其他计算机上的同类软件相互交流。用户与设备、软件提供的接口交互，进而与虚拟环境交互，也许通过虚拟环境中的移动玩家角色就可以实现。如果这是为了娱乐目的，那么整个系统可能被称为一个 NG，虽然这些可能是这些技术应用的子集，该技术可以从医学仿真延伸到教育军事训练范围。事实上，除了它们所创建的内容类型，往往很难辨认出支持 NVE 的系统和支持 NG 的系统。有些系统是专为娱乐目的而设计的，是基于幻想或卡通风格的，如 World of Warcraft 或迪斯尼的 Toontown。其他系统注重中性的使用，并交给用户创建内容和应用上下文的权利。例如，Linden Lab 的 SecondLife 就可以包含商业中心和夜总会。

NVE 和 NG 的共同特征以及本书的重要范围就是通过虚拟环境并参考普遍的三维（3D）或不常用的 2D，描绘一个真实的或虚构空间。该客户端软件允许用户通过移动这个空间，来获得空间上的新视点。该空间通过实时（30 赫兹以上）速率显示给用户，是动画的，具有它的互动元素，并且它所代表的现实是通过明确定义的规则所控制的（如布朗运动、重力作用或者光的折

^① 沉浸感经常被用来描述计算机和视频游戏，是丰富的、引人入胜和互动的。在虚拟现实系统领域，这个术语用来展示区别于包围和环绕用户，请参见 1.3.5 节的一个术语。

射)。根据所支持的用户交互的类型,该用户可能会以某种方式来表示。

图 1-1 显示了一个典型的 NVE, 其中的作者之一参与了开发。这种特殊的系统——分布式交互虚拟环境 (DIVE), 是由计算机科学的瑞典学院 (SICS) (Frécon 等, 2001) 建立的一个研究原型。虽然在图 1-1 所示的软件的特定版本发布于 1999 年, 但是它具有目前在线社交 NVE 的许多特征: 用文字聊天, 大型世界参观, 同一场所最多支持约 30 名玩家, 并具有音频和视频流。最重要的是, 该系统具有很多虚拟角色 (avatar)^①, 这是被普遍使用于参考世界范围内用户的可视化表现领域的术语。虚拟角色把你的地理位置显示给其他人, 并为用户提供了一个有关他们所在环境的交互模型。不同的系统支持不同的视觉风格的虚拟角色, 从抽象的 (如 DIVE 虚拟角色) 到卡通逼真的化身。在 DIVE 音频中, 通信是通过在虚拟环境中彼此靠近的虚拟角色而启用的。用户可以在世界里选择和操纵许多他们附近的物体。在 9.2 节我们会讨论更多有关 DIVE 的细节。

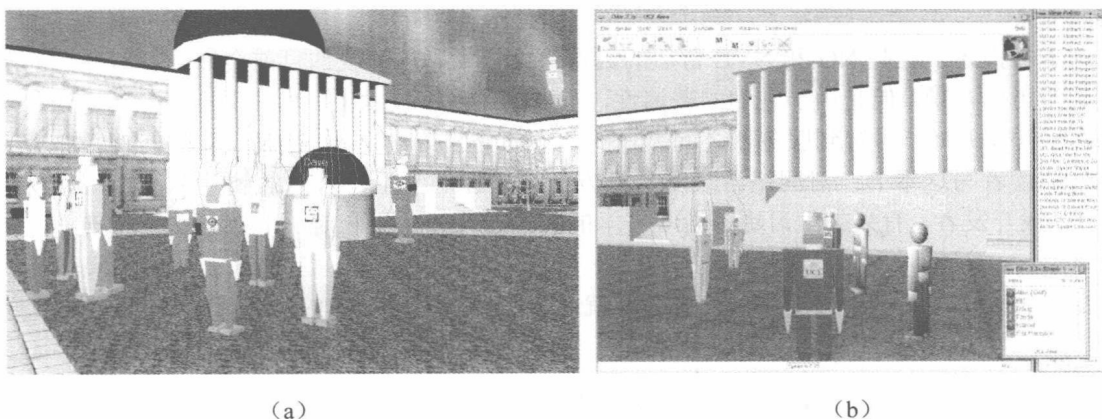


图 1-1 DIVE 系统的两个场景

注: (a) ——一组虚拟参观伦敦大学学院的角色的第一人称视角。(b) ——在相同的环境中通过第三人称视角呈现出一些桌面用户界面, 可以进行语音、导航和编辑。

1.2 共享虚拟环境的幻象

一个 NVE 的建立是在虚拟环境中创建一个幻象, 并在所有参与者中共享。如图 1-2 中, NVE 由多个协作 NVE 客户端计算机 (或只是客户端) 组成, 每个客户端通常运行在一个工作站或家用计算机上。^②客户端是由一个或更多个软件组成, 这些软件负责关键的功能, 如生成感官输出 (如视频)、动作输入 (如操纵杆) 和物理模拟。客户端计算机与网络基础结构 (互联网具有最普遍的全球连通性) 通过调制解调器和/或路由器连接在一起。1.4 节将更详细地讲述 NVE 系统本身的组件。

如图 1-2 所示, 一个 NVE 系统的目的不是要建立一个单一的用户体验, 而是要共享所有参与用户的经验。虽然系统中的每个用户看到不同的视点, 但这些视点应该是一致的。从技术角度

^① 术语 avatar 源自印度教经文的梵文词, 它指的是化身。在计算机范围内第一次使用是指并不知名的用户, 这个词广泛运用于 Neal Stephenson 的小说 *SnowCrash* 里。

^② 在第 13 章我们将讨论不同类型的集群图形。

来看,这意味着每个 NVE 系统共享虚拟环境的通用模型。正如我们将要学习的,网络延迟、拥塞等实际问题的解决是非常困难的。在本系统中,每个客户端具有略微不同的模型,因此在每个客户端的虚拟环境中的效果是完全不同的。这就是为什么本节的标题是“共享虚拟环境的幻象”的原因。幸运的是,用户有时没有察觉到,或者至少能容忍虚拟环境的每个客户端视点之间的差异。用户看到的虚拟角色围绕着虚拟环境运动并且和物体相互作用,包括其他的虚拟角色。他们可以和其他用户交谈或者至少能发送文字信息。虽然媒体看上去不太成熟,但用户仍然可以成功地相互交流。只要用户能够以这种方式体验到他的虚拟环境,并且认同这个世界的重要特征(如游戏或模拟位置的敌人),那么他们可以对共享相同的虚拟环境产生共识。这时事情开始变得不同步,共享空间的幻象变得难以维护,并且用户要花费大量时间对话或者文字交流,进而对共享虚拟环境达成某种共识。^①

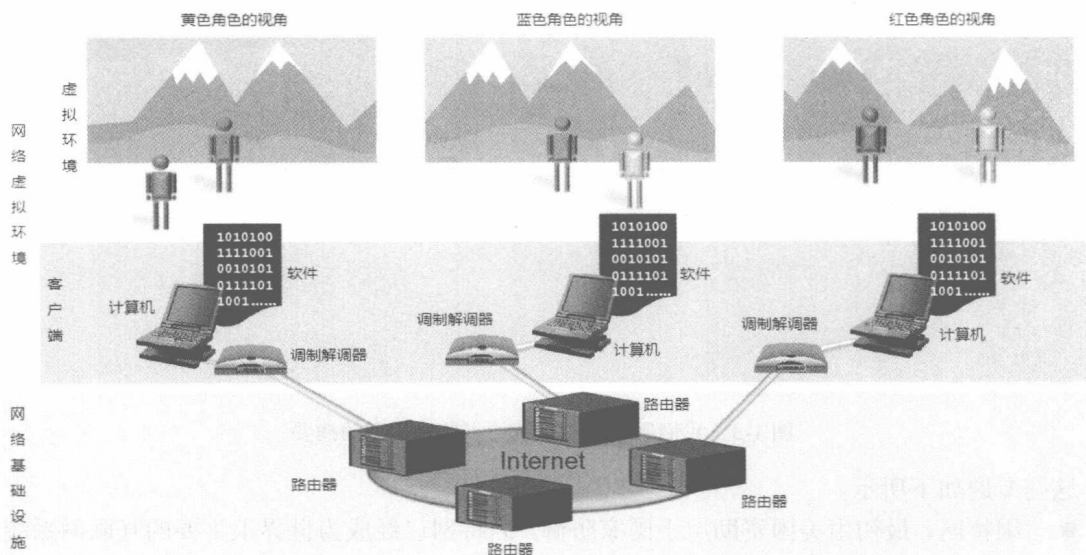


图 1-2 共享虚拟环境的幻象

网络基础设施为信息的共享提供了必要的支持,来保持所有参与用户观点的一致。究竟如何做到这一点将会贯穿到本书的其余部分进行讨论;但除了必须做的技术细节,我们已经可以断定,网络不能足够快地简单复制所有参与者的变化信息将是一个瓶颈。网络基础设施需要谨慎选择,了解什么是需要透过网络传送的。在这样做时,需要顾及用户在虚拟环境的位置以及他们与谁交互。

1.3 一些历史

NVE 具有悠久的历史,其完整历史可以发行一系列的书籍。特别是在最近几年,NVE 和

^① 作为 NVE 中最迷人的部分之一,又是本书中我们只能简单触及的部分,用户会看到虚拟角色是如何被作为真正的人一样对待的。在社会的 NVE 中,虚拟角色往往会形成小范围的社会群体,就好像他们在现实世界中谈话一样。计算机科学和社会学会有一大部分的重叠(见 Schroder、2001 年,Churchill 等、2001 年,Schroeder 和 Axelsson、2006 年的概述)。