第1章　分布交互仿真概述

1.1　分布交互仿真的产生

20世纪80年代以来，随着世界范围内冷战的结束，各国政府纷纷把投资重点转向经济建设，大量削减军费开支，并着手大规模地削减常备军的规模。军事演习不仅受政治环境的影响，同时还受到经济条件的约束。此外，随着武器技术的发展，武器装备的费用也随之增加。目前，大型武器系统的高额费用已成为当今各国武器发展的一个致关重要的制约因素。据有关资料显示，美国每十年各主要武器系统平均成本大约增长四倍，扣除通货膨胀的因素，平均每年增长仍高达9%～10%,即每二十年增长5倍～6倍。面对巨额的军费开支，美国的高级分析家已经认识到：不真正承认财力上的限制就不可能发展可信赖的国家安全态势，在形成一种平衡而又负担得起的国家安全态势方面需要进行综合考虑。因此，以某种有效的经济的方式进行军事演习、训练与武器系统研制就成为各国军方摆脱困境的途径。发展系统仿真技术就是一种很好的方法。

系统仿真技术具有经济、安全、不受天候场地限制等优点。

(1)经济性。我军的目标之一是打赢一场高科技条件下的局部战争，我们的假想敌是美军。美军的一名坦克炮长一年可以打100发炮弹，我军的一名坦克炮长一年仅可以打4发炮弹。现在,武器装备的造价十分昂贵,就弹药来说,一发88式坦克炮弹价值1万元人民币;一发红箭73反坦克导弹价值8万元人民币;而一发红箭8炮射导弹的价值超过20元万人民币。如此昂贵的弹药，如何进行训练？如果增加实弹训练，费用将十分可观，如果减少实弹训练，将来一旦爆发战争能不能保证我军战略目标的实现？利用系统仿真技术可以较好地解决这个问题。例如仿真一门炮，首先根据实物建立它的数学模型，然后根据数学模型建立仿真模型，再把仿真模型放到计算机中并加上相应的炮控设备就建成了一门“仿真炮”，也可以说是一台射击仿真器。只要数学模型、仿真模型达到一定精度，用这门炮进行射击，它的射弹散布与真实炮的射弹散布是比较吻合的。如果进行射击考核，就可以用它来代替真实的炮，所达到的效果几乎一致。这门炮建成以后，用它来实施训练,花费将会相当小。

(2)安全性。每年用实装进行训练都有这样那样的事故发生，事故发生的原因大都是操作人员不熟悉装备、违反操作规程导致的。如果先用仿真器进行训练，待操作人员熟悉操作之后再动用实装将会大大减少事故的发生。因为用驾驶仿真器来进行训练，不管怎样违反操作规程也绝对不会造成车毁人亡的事故。

(3)不受天候场地限制。不管外界的环境怎样，不管身处何方，只要装入相应的模型就可以在所需要的环境中训练。例如，虽然是在白天，装入夜间的模型便可以进行夜间科目的训练。

传统的单台仿真器解决了单个成员的训练问题，但不能很好地满足协同、分队战术等

需要全本请访问 www.ertongbook.com

高级训练任务的需求。最好的驾驶员、最好的车长以及最好的炮长组合在一起，他们的战斗力可能很差。单车的战斗力强，他们组成一个排、一个连的战斗力也不一定强。为了满足更高层次的需要，必须使仿真器从单台独立运行模式向联网交互运行模式发展，正是这种网络化需求产生了分布交互仿真（distributed interactive simulation，简称 DIS）。

分布交互仿真就是在 SIMNET(Simulation Network) 的基础上产生的。DIS 是一种基于计算机及高速通信网络的仿真训练系统，它将分散于不同地点、不同类型的仿真设备或系统集成为一个整体，使之相对每个用户皆表现为一个逼真的浸入环境，并在此环境下支持高度的交互式操作。所谓' 高度的交互式操作 ",是指 DIS 的虚拟环境对交互操作的支持水平与训练时的设定严格一致。例如，在训练中分配三位参与者分别为同一辆车的车长、驾驶员和炮长,则 DIS 须使三者通过网络的协同与实际的车内协同相一致，而不论三者的实际地理位置如何。

1.2 分布交互仿真的发展

自从 1983 年，美国国防部高级研究计划局(DARPA）和美国陆军共同制定的 SIMNET 研究计划启动以来，分布交互仿真技术走过了四个主要阶断： SIMNET 的研制和使用阶段，DIS 的研制和使用阶段， ALSP 阶段和 1995 年以后的高层体系结构（Hight Level Architecture，简称 HLA)的研究使用阶段。

1.2.1 SIMNET

1983 年，美国国防高级研究计划局和美国陆军共同制定了一项合作研究计划，即 SIMNET研究计划。此计划不是以提高受训人员操作武器系统的熟练性为目的，而是将分散在各地的多个地面车辆(如坦克、装甲车)仿真器用计算机网络联接起来,进行各种复杂任务的训练，演示验证实时联网的人在回路中的作战仿真和作战演习的可行性，最终达到降低训练成本，提高训练的安全性及减小对环境的不良影响的目的。

在 SIMNET 系统中，每个单独的仿真器都能分别独立地仿真 M1 主战坦克、装甲车、雷达车、A—10 对地攻击机等武器装备，并能模拟采用苏军战术的计算机生成兵力(Computer Generated Force,简称 CFG)。坦克仿真器能仿真包括导航、武器及显示系统的全部特性。此系统以德国和欧洲中部的一个 50km × 70km 的战场环境为作战背景。数据库内有详细的数字化地图，坦克间通过长距离的声音和电子消息的传输进行通信。 20 世纪 80 年代末 SIMNET 计划结束时,它已发展成为具有约 260 个地面车辆仿真器和飞机飞行仿真器、通信网络、指挥所和数据处理设备等互联的网络，分布在美国和德国的 11 个城市。SIMENT 计划的成功，使人们看到了发展仿真器联网运行技术的光明前景。

1.2.2 DIS

在 20 世纪 80 年代后期,根据在使用 SIMNET 中所积累的经验，认为在作战想定中应使敌方在数量上优于己方，因此仿真器的数量大大增加了，于是在 SIMNET 基础上发展了异构性网络互联的分布交互仿真技术。 SIMNET 中的许多原则,如对象／事件结构、仿真结点的自治性、采用 DR(Dead Reckoning) 算法降低网络负载等都成为今天 DIS 的基础。 1989

年 3 月,由美国 Central Florida 大学的仿真与训练研究所(Institute of Simulation & Training, 简称 IST) 主办召开了第一届 DIS 研讨会，并成立了工作小组，此后每年举行两次。DIS 在美国的研究和发展很快,1992 年 3 月在第六届 DIS 研讨会上，美国陆军仿真训练装备司令部(Simulation, Training and Instrumentation Command ,简称 STRICOM)提出了 DIS 的结构,并着手制定 DIS 协议。

以 SIMNET 计划的成功为标志,对 DIS 技术的研究已经走过了十几年。从仅支持基于同构网络的分支交互仿真发展为对基于异构网络分布交互仿真的支持，从概念性研究到在人员训练、武器研制、战术演练和空中交通管制仿真等军事和非军事方面的成功应用，DIS 技术已经逐步走向实用，并进一步进行了标准化的尝试和努力，且已经制定出了 DIS2.0 标准。

随着分布交互仿真需求的发展，人们在研究过程中逐步发现,DIS 仍不是一项成熟和完善的技术,DIS 技术正面临着诸多问题，而且正是由于上述的某些特点和原则，使问题很难得以解决。

一、应用范围

由于 DIS 技术的局限性，目前 DIS2.0 标准只是较好地解决了“人在回路”的实时仿真。CGF 的研究虽有进展，但仍未解决对人推理行为的描述和 CGF 的聚合、解聚问题。在构造型仿真方面，聚合级仿真协议(Aggregate Level Simulation Protocol ,简称 ALSP)的研究发展较快,但由于它是与 DIS 并行发展的，其体系结构与 DIS 完全不同，要想将其纳入目前的 DIS 中还不太可能。此外,将真实系统纳入 DIS 的研究还处于起步阶段，至今还没有什么成果。

二、交互与通信方式

目前 DIS 只支持单一的基于无连接的广播方式(Best-Effort Broadcast) 交互数据。这种方式的特点是：无连接的广播方式不能保证无误数据发送和接收；数据的发送方以无连接的广播方式向网络上发送交互信息，而不管这些信息是否为其它仿真结点所需要；网络上的其它结点只能被动地接收网络上的交互信息，通过判断来决定信息的取舍。

这种方式的不足之处在于信息的接收方必须首先将网络上的所有信息接收下来，然后就是否对自己产生影响作出判断，处理有价值的信息，抛弃无用信息。研究表明，随着 DIS 中实体数目的增多，仿真结点间的信息交互量将呈指数增长。由于对于信息的判断工作完全由接收方来完成，这就大大地增加了接收方的处理负担。这也是限制 DIS 中实体数量增加的瓶颈问题。

此外,这种交互方式虽然能较好地满足‘人在回路’的实时仿真需要,但是对于由事件驱动的和时间驱动的仿真就不适用了。例如对于由事件驱动的仿真，由于无连接的通信方式可能造成数据丢失，一旦驱动仿真运行的事件在传输过程中丢失，仿真便无法正确运行。对于这类仿真来说，必须采用有连接的、无误的传输方式。因此，采用单一的交互和通信方式也是 DIS 很难支持其它类型仿真应用的原因之一。

三、协议的扩展

随着 DIS 应用范围的不断拓展，一些新的仿真对象和交互作用类型将相继出现。这就要求在 DIS 标准中要不断增加一些新的内容来描述这些新现象，从而导致了 DIS 标准的不断扩充和不断复杂化。因此，可以说 DIS 标准的复杂化是 DIS 应用范围拓展和功能

强大的必然结果。基于上述事实 DIS标准的发展将面临如下困难：

（1）人们一直在讨论 DIS标准到底应该支持多少种特定的仿真应用（即 DIS技术的应用范围问题），但直到现在仍是难有定论。

（2）不断有许多新的交互协议等待被批准为 DIS 的新标准。

虽然每次标准的更新将使 DIS 支持更加广泛的仿真应用，但由于标准格式和内容的变化，新标准将不再支持原先开发的仿真应用，即新标准不具有向下兼容性。这正是新标准发展过程中有待解决的问题。

此外，对于某一具有特定目标的应用来说，可能只需要 DIS标准中部分内容（即 DIS标准的子集）的支持就可满足仿真需求，而完全没有必要采用全部的 DIS 标准。因此，复杂的 DIS 标准将会给开发功能相对简单和单一的仿真带来许多困难和不便，使简单仿真的开发和维护复杂化。

因此,我们有必要研究一种新的 DIS标准发展机制来支持 DIS标准的研究。这一机制应支持如下功能：

- 便于将对新实体、新事件及新交互作用的描述加入原有 DIS 标准中，而不是简单地重新制定标准；
- 新标准对原来开发的仿真应用应提供全面支持，实现 DIS标准的升级与更新。

四、数据描述方式多样化

在 DIS 发展过程中，人们逐步认识到 DIS 标准缺乏灵活性，如它采用了固定的状态变量单位、通用的坐标系统和统一的状态变量分辨力（可分辨的最小值）。这一方法虽然能够保证仿真间的交互作用在通常定义的空间范围内进行，但却给某些特定的仿真应用带来了许多不便。如在对雷达这一专用测量系统的仿真中，雷达设备有其特有的坐标系统、单位集和测量分辨力要求，这些均与测量系统的特殊任务和要求相一致。对于这类仿真，如果 DIS 中仅采用单一的数据描述方式，就会造成许多人为的转换工作，并可能浪费有限的通信带宽。研究表明，仅由仿真结点坐标描述不同而引起的坐标变换就将占用仿真结点处理能力的 30 。由此可见，DIS 标准应能灵活的支持多种数据描述方式。

五、通信有效性

通信技术是 DIS 实现信息交互和共享的方法和手段。近年来，通信有效性问题一直是 DIS 中讨论的焦点。从广义上讲，通信在客观上面临如下两方面的矛盾：

- 方面是通信设备、通信介质和通信技术客观上受通信带宽和处理器处理能力的极大限制 另一方面是随着 DIS 技术应用范围的拓展，要求 DIS 支持越来越多的实体和事件间的信息交互这种需求客观上导致了交互信息量的急剧增加，从而进一步加重了通信的处理载荷

因此，要实现更多有价值信息在有限带宽上的通信，当务之急是提高通信的有效性，即尽可能减少不必要的、冗余的信息传输，使有限带宽充分为有效的信息所利用。

1. 与实体状态更新相关的通信有效性

在 DIS 中，实体状态信息的交互是通过 PDU 来实现的。对于运动实体（如飞机、导弹、车辆等）来说，实体状态 PDU（Entity States PDU ，简称 ESPDU）中描述了实体状态的全部信息，包括位置、姿态、速度、加速度，角速度、角加速度等。目前在 DIS 标准中对实体状态

信息的传输作了如下规定：

（1）当 DR模型对实体状态信息的推算与实体真实状态信息间的偏差超过给定允许值时，则进行实体状态信息的传输；

（2）当实体状态信息在相对较长的时间间隔内（如 5s)一直未被传输,则进行实体状态信息的传输，用以告知其它仿真结点自己仍在运行；

（3）实体状态信息以 PDU 的形式向所有其它仿真结点发送。

由此可以看出，实体状态信息的传输是以 PDU 的形式进行的，PDU 中又包括了实体的全部状态信息，这就决定了每次传输都要传输实体的全部状态信息。由于 DR 模型对实体各状态推算的准确度的差异，在绝大多数情况下，DR 模型对实体某个状态信息推算超差将导致实体全部状态信息的传输，即虽然只有一位信息变化了，也不得不传送全部的 PDU 信息。显然，这种传输机制缺乏有效性，即被传输的实体状态信息中包含了许多本不需要传输的冗余。

因此，我们需要研究一种只对超差的实体状态信息进行滤波和传输的机制，从而大大减少仿真中信息的传输量和处理量，节省有限带宽。

2. 与信息分辨力相关的通信有效性

在实际应用中，不同测量装置对实体间相对位置的测量敏感度是不同的。因此，在 DIS 中不同的仿真交互实体对于同一实体状态信息的分辨力要求往往也是不同的。我们将这一问题称为数据的不确定性容限。比如，当距离较远时，人眼看到的敌机可能只是一个小黑点，随着距离越来越近，人眼便能分辨敌机的型号、运动方向乃至速度等更为详细的信息。再如，对于同一距离，人眼分辨能力和雷达分辨能力就相差很远。在距离很远时，人眼对于敌机的距离变化是不敏感的，而雷达却能以公里的数量级较为准确地定位。但当距离只有几百米时，人眼便能准确地分辨距离，而雷达则无能为力了。因此，同一物理量在不同情况下就应采用不同的单位、分辨力和有效位数进行传输。

在目前的 DIS 标准中，为了使实体状态信息的分辨力能够适应所有仿真交互实体的要求，往往将实体状态信息分辨力定得较高，这就导致了许多实体状态信息以较高的分辨力和较多的有效位数在网络上传输，从而降低了通信的有效性。

因此，我们需要研究一种能解决实体状态信息的不确定性容限问题的机制，对不同分辨力要求的交互作用采用实体状态信息的不同分辨力传输，从而为分辨力较高的交互提供更充裕的带宽，提高通信有效性。

3. 采用 DR 机制增加通信有效性

DR机制早在 SIMNET 计划中便被采用，仿真结点可以基于一些简单的一阶或二阶运动学 DR 模型，对与之相关的其它结点中的仿真实体位置和姿态进行推算，从而将实体状态信息的通信量减少十倍以上。这一机制的优势明显，但在目前 DIS 标准中，DR 机制的使用仍然仅仅停留在对实体位置和姿态的推算上。

基于 DR 机制巧妙的构思，我们可以进一步将这一机制引入对其它信息量的推算比如,随着 DIS 的复杂化，对夜视技术和红外探测技术的仿真也将逐步引入。因此，物体表明的温度模型将变得必不可少，物体温度值也就成为一个重要的信息量。将 DR 机制应用于对物体温度值的推算同样可以扩大技术信息通信量，增加通信有效性。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

1.2.3 ALSP

分布交互仿真领域将仿真分为三类：实物仿真、虚拟仿真和构造仿真。与实物仿真、虚拟仿真运行在实时、单独层次上相比，构造仿真中仿真实体的粒度(Granularity)更大，将实体集合聚合成更大的单位，将其看作是一个简单的对象，一般为给实时运行。在解决系统中包含10万个以上实体的大规模仿真问题时，DIS2.X采用计算机生成兵力(CGF)的方式来处理。ALSP与CGF相比，其优点在于聚合级实体对网络带宽的要求较低，这也是聚合级仿真得到重视的原因。

1991年1月，DARPA提出了ALSP，并于1992年7月开发了第一个正式投入使用的ALSP系统，用以支持军事演习。

但是，值得注意的是，ALSP的应用范围远没有DIS2.X广泛，ALSP是主要针对离散事件和逻辑时间的仿真系统。应用局限于军事演习领域的构造仿真，不能实现与其它两类仿真(实物仿真和虚拟仿真)间的互操作，尤其是当ALSP系统与实时、连续、平台级的DIS2.X系统中的实体交互时，其聚合级的部队实体需要解聚成为单独的实体，在实时仿真时钟下实现与DIS2.X系统中实体的交互作用。完成交互之后，在适当的时刻需要重新聚合成部队级的实体，在非实时仿真时钟下运行。实现这一过程在目前的ALSP体系结构和技术条件下是比较困难的。同时，ALSP目前的体系结构在系统性和完备性方面还需进一步的发展和深入研究。

1.2.4 HLA

一、HLA的发展背景

分布交互仿真技术发展的内在动力是围绕解决建模与仿真（M&S）中的互操作性和可重用性问题。尽管DIS在军用和民用领域得到了广泛的应用，但是仍然面临上述主要问题。美国国防部充分认识到当前建模和仿真的能力与状况，吸收和继承了DIS和ALSP协议的有益思想制定了一系列目标，其中，使仿真系统之间及其C^4I系统之间的互操作和建模与仿真资源重用的目标直接导致了HLA的制定。

1995年10月，美国国防部(DoD)公布了国防部建模与仿真主计划（DoD M&S Master Plan)，提出了建模与仿真的六个目标，其中一个目标就是在DoD范围内开发一个建模与仿真的公用技术框架。这个目标又包括三个子目标，在体系结构方面号召开发一种高层体系结构HLA。HLA的目的是为了支持仿真应用间的互操作性和仿真部件的重用性。1996年9月召开的第十五届DIS研讨会成为最后一届讨论DIS的会议，下一届会议开始讨论的内容是DIS++——采用HLA体系结构的分布交互仿真。如果说DIS体系结构是从被动地迎合地理上分布的仿真器互联要求的基础上发展并标准化的话，那么HLA的建立则完全是为了主动地建立一种更适于各种类型的模型和仿真系统以及C^4I系统之间实现互操作的体系结构。

二、HLA的组成

HLA的定义包括3个部分：

(1) 框架与规则集(Framework and Rules) IEEE P1516。

(2) 联邦接口规范(Federate Interface Specification) IEEE P1516.1。

（3）对象模型模板(Object Model Template - OMT) IEEE P1516.2。

三者的关系是：规则集中规定的联邦对象模型 FOM(Federation Object Model)和仿真对象模型 SOM(Simulation Object Model)的建立必须用 OMT 记录，而 OMT记录的信息有利于联邦成员与 RTI(Run Time Infrastructure)进行方便的交互，三者相互作用，紧密联系，这三部分中任何一部分的改动都会影响其他两部分的改变。

三、HLA 的核心 RTI

HLA 是一个开放的、支持面向对象的体系结构。它采用面向对象的方法学来分析系统，建立不同层次和粒度的对象模型，从而促进了仿真系统和仿真部件的重用。 RTI 是 HLA 体系结构的运行支撑系统，它将应用层同其底层支撑环境功能分离开，即将具体的仿真功能实现、仿真运行管理和底层传输三者分离开来，可以使各部分相对独立开发，尽可能地利用各个不同领域的最先进的技术，同时可方便地集成和管理新的仿真系统。 RTI 提供联邦管理、声明管理、对象管理、所有权管理、时间管理和数据分布管理等六种服务。

四、HLA特点

与 DIS 相比，HLA 具有如下显著特点：

（1）HLA 支持多种类型仿真间的交互；

（2）HLA 采用了客户／服务器(Client/Server)的技术和概念，而不像 DIS 中只简单采用了点对点的广播方式；

（3）HLA 采用 FOM/SOM 技术和方法描述对象属性与对象间的交互作用，便于模型的建立、修改、生成与管理和仿真资源的再利用；

（4）RTI 中提供了声明管理服务，减少了冗余信息的传输，从而大大提高了信息传输的有效性，减小了处理器的处理负担，为构成大规模的分布交互仿真提供了可能。

DIS. ALSP 和 HLA 的综合比较见表 1 - 1。

表 1 - 1 DIS、ALSP 和 HLA 的综合比较

DIS.	ALSP	HLA
平台级建模 （以连续系统为主）	聚合级建模 （以离散事件系统为主）	平台级和聚合级建模 （包括连续系统和离散事件系统）
虚拟仿真/实况仿真	构造仿真	虚拟仿真/构造仿真/实况仿真
广播式通信/点对点通信	广播式通信	一点对多点通信
数据通信 PDU 规范 （IEEE1278 - 1）	规定联邦的数据交换，在接口控制文件中说明，但没有标准格式	在 SOM 和 FOM 中定义数据通信格式
网络接口按 IEEE12178 - 2 标准	由 AIS(ALSP Infrastructure Software) 提供网络接口	由 RTI(Run-Time Infrastructure) 提供网络接口
实时仿真	守恒的时间管理模式	多种时间的管理服务

目前，国外典型的分布交互仿真系统主要有：

（1）STOW2000。

（2）WARSIM2000。

国内的分布交互仿真系统主要有：

（1）多武器平台攻防对抗综合仿真示范系统（航天总公司二院）。

(2) 分布式虚拟环境(北京航空航天大学)。

(3) 装甲数字化营作战仿真系统(装甲兵工程学院)。

1.3 分布交互仿真的分类与特点

1.3.1 分布交互仿真的分类

从系统的物理构成来看,DIS 系统是由仿真结点和计算机网络组成的。仿真结点负责实现本结点的仿真功能，包括动力学和运动学方程的求解、运动模拟、视景生成及音效合成、特殊效果(烟雾、爆炸和碰撞效果、风雨雷电等自然效果)合成、人机交互等。各结点负责计算其内部的一个或多个仿真实体的状态，并把这些状态及其内部事件通知其他结点。仿真结点还负责接收其他结点发送来的状态和事件信息，并计算这些信息对本结点的影响。分布在不同地域的仿真结点通过计算机网络联结起来，采用局域网（Local Area Network,简称 LAN)、广域网(Wide Area Network ,简称 WAN）及网桥（Bridge)、路由器(Router)和网关(Gateway)等互联设备联结这些结点。

从组成单元的性质上看,可把 DIS 系统划分为以下三类仿真：

(1) 虚拟(Virtual)仿真：包括各种类型的人在回路仿真器和计算机生成兵力，例如计算机控制的坦克(Computer Controlled Tank,简称 CCT)。

虚拟仿真是指系统和军队在合成战场上模拟作战，往往表现为真人操纵模拟系统的模拟，人成为控制回路的中心。回路中的人和一个类似的、结成网络的敌军进行战斗，敌军可能也是联合体，这个联合体由虚拟部队——实际操纵仿真器的人和完全由计算机生成的半自动化兵力(SAF)组成——即在人提供作战监控情况下由计算机模拟车辆和武器。回路中的人借助模拟系统使人成为控制回路的中心，来练习操纵动力装置的技巧（例如飞行)、决策技巧(例如对行动的火力控制资源)或通信技巧(例如作为 C^4I 部队的成员)。虚拟仿真中,人的行为由真人模拟,尽管不能感受真实战斗的许多压力,但通过使用视景、音响和运动效果来尽可能适当地增加紧张程度，提供给他们一个逼真的、能感受到威胁的战术环境，以激发逼真的个人和组织行为，并能逼真地反映一场战斗的各个方面。这种由计算机创造出来的视景被许多人视为“虚拟现实”或“综合环境”。如坦克训练仿真器，波西尼亚的空中轰炸模拟都是虚拟仿真的例子。

(2) 构造(Constructive)仿真:包括高层聚合模型、模拟军事演习(Wargames)和一些分析模型。

构造仿真是一种战争演练模型和分析工具，通常是由模拟的人操纵模拟的系统。构造仿真的主要历史实例包括图上演习、沙盘作业和海军用舰船模型进行的作战模拟。实际上，这些古老的方法仍在使用。例如，美国陆军坦克营指挥官及其参谋人员，为了看到和演练他们在沙漠风暴行动中的作用，在德国驻地用购买的军事模型在表示沙特沙漠的沙盘上进行演练活动。如今，计算机辅助演习已大部分取代图上演习、沙盘作业。美国陆军正在使用陆军通信和电子司令部开发的“虚拟沙盘”——一种基于“虚拟现实”的疏散配置的指挥所在那里，每个指挥官的虚拟环境包括一个虚拟视频墙、虚拟作战地图投影、交互式三维沙盘模型和远方会议参加者的可视化会议室。在某些情况下，一个司令官

（通常配备参谋和下级司令部）可借助他们同一个相似配备的、有人扮演的敌军司令官进行对抗。在另外一些情况下，没有人扮演军事角色，而是分析家输入真实或假设情况进入计算机，然后指导计算机预测，一步一步进行，看什么情况会发生。在某些情况下，可以有单个车辆的结果和细节，这也是构造仿真。构造仿真的例子有：空军／国防核武器局的安全演习评佑系统(SSES)、美军在海湾战争中用来研究作战计划的“军团战斗模拟系统”等。

(3) 真实(Substantive/Live) 仿真：包括实际的靶场和各种真实武器系统及仪表显示系统。

真实仿真是指真正的军人使用实际装备在实际战场的假想行动。它是最古老、最熟悉的模拟样式，他们操纵实际装备但不进行真正的战斗行动。这种通常被称为演习的模拟，不仅用作一种训练方式，而且也可用作研究和作为更大的模拟系统的一个子系统。野战演习就是一种真实仿真。如美国加入二战前进行的“路易斯安娜机动者”演习、美国海军在真正袭击前模仿对珍珠港的攻击“困师德国”演习的部分、协作精神和大西洋决心演习都是实物演习的例子。又如在电子战环境下对 F—22 飞机的操作测试，也是真实仿真。

1.3.2 分布交互仿真的特点

1. 分布性(Distributed)：分布交互仿真的分布性表现为地域分布性、任务分布性和系统的分布性。地域分布性是指组成仿真系统的各个结点处于不同的地域。它们可以同处于一个局域网中，也可以处于不同的局域网中；可以处于同一个城市，也可以处于不同的城市甚至不同的国家。任务分布性是指同一个仿真任务可以由几台计算机共同协同完成。比如在 DIS 中,可以将各个结点实时演习看作一项任务,那么这个任务中既包括网络的通信，又包括大量的模型解算，还包括图形的绘制。其中每一项都需要大量的计算。对于非实时仿真的结点，这些计算可以放置在一台计算机上，但是对于实时仿真的结点要求就不同了。实时结点要求本结点的任务必须在规定的时间内完成。因此，实时结点配置多台计算机来完成同一任务，以提高本结点的实时性就显得尤为重要。这种同一任务由多台计算机来协同完成的现象就是任务分布性。系统的分布性是指同一个仿真系统可以分布在不同的计算机上。这些计算机可以处于同一地域，也可以处于不同的地域。

地域上分布的各仿真结成用网络联结，以实现共享一个综合环境。DIS 系统在功能和计算能力上也是分布的。在 DIS 系统中,没有中央计算机,各仿真结点的地位是平等的。DIS 的各仿真结点具有自治性，仿真结点既可以联网交互运行，也可以独立运行各自的仿真功能。

2. 交互性(Interactive) 交互性是 DIS 的又一大特点。DIS 的交互性包括人机交互和作战时的对抗交互。所谓人机交互是指参与作战演习的人员，通过计算机将其对仿真系统的命令传达给仿真系统。比如指挥人员通过计算机下达系统暂停命令等。所谓对抗交互是指参与作战的对抗双方相互之间交互作战信息。比如红方向蓝方进行了一次射击，则红方应该将射击 PDU 发送给系统中的蓝方，以保证作战环境的时空一致性。

3. 仿真性(Simulation)：DIS 中包括真实结点、虚拟结点和构造结点的交互，后两部分是通过仿真实现的。

4. 实时性(Real Time)：DIS 中，人是通过对计算机生成的综合环境的各种真实的感受

来作出响应而形成‘人在回路’的仿真,所以 DIS 系统必须保证仿真系统中的时间和空间与现实世界中的时间和空间的一致性。这就要求实体状态必须是实时更新的；实体间的信息必须是实时传输的；图形显示必须是实时生成的等。因此,DIS 系统必须要在实时前提下运行。

5. 集成性(Integration):DIS 的另一个突出的特点是对已有系统的集成。如何将这些地域上分散、不同的制造厂商开发、系统的硬件和软件结构配置各不相同、实体表示方法与描述精度各异的仿真结点联结起来并实现互操作，就成为研究人员待解决的问题，也是 DIS 技术中的关键。

6. 没有中央计算机控制整个仿真演练：一些仿真系统使用一个中央计算机来维护整个虚拟世界的状态，并计算每个实体的行为对其他实体和环境的影响。而 DIS 系统中,这是通过分布式仿真方法实现的，由通过网络互联的主机上的仿真应用软件来完成每个实体状态的计算。当新的主机连接到网络上时，它带来了自己的资源。

7. 使用 DR 算法来减少通信负荷:DR 算法是一种对位置／方向进行估计的方法,它用于减少仿真应用软件对它所控制实体的状态的更新频率。每个仿真应用软件拥有与它发生交互作用的其他结点的低阶简化模型(DR 模型),并可根据这些 DR 模型来推算其他结点的状态。同时，它也计算自身实体的实际模型和 DR 模型。当根据这两个模型推算出的自身状态偏差超过预先设定的阀值时，它便产生一个事件，将其真实状态发送给网络上的其它结点，激励它们更新对本结点的状态估计。实际经验表明，选择合适的 DR 算法及阀值可使通信量减少为原来的 1/10 以下。

1.4 分布交互仿真的关键技术

1.4.1 体系结构

随着应用领域对分布交互仿真系统的要求越来越高， DIS 系统已经不能满足复杂系统的仿真需要。DIS 的通信方式也制约了演练的规模，数据形式浪费了大量的网络资源。而 HLA 作为一种新的体系结构，其出发点就是要满足复杂系统的仿真需要。它从通信方式、数据交互形式上都做了较大的改进。HLA 从定义方式、实现方式上都与 DIS 体系结构有着很大的区别。因此，对分布交互仿真体系结构进行充分的研究非常必要。

1.4.2 信息交换标准

为了生成时空一致的仿真环境，并支持仿真实体间的交互作用，必须制定相应的信息交换标准。主要包括信息交换的内容、格式的约定以及通信结构和通信协议的选取。 DIS 作为计算机技术和网络技术的一个应用领域，在其发展过程中经历了从非标准化到标准化的过程。为了使不同时间、不同开发环境、不同操作系统和平台下开发的仿真应用之间能够实现交互,人们在进行 DIS 开发时都遵循一些经过确认的约定，这就是一系列的 DIS 标准。目前,DIS 中普遍采用的是 IEEE 1278.1—1995 标准。

IEEE 1278.1—1995 标准是由美国军方仿真训练与装备司令部和国防建模与仿真办公室负责，并由美国佛罗里达大学的仿真与训练研究所具体完成。因此，这个标准是与美

国军事需求相吻合的。但是，各国的军事因国情的不同而不同，完全照搬美军的标准是不科学的。我们在 IEEE 1278.1 的基础上，对于某些内容可以有自己的理解。这样也可以增加保密性。

通信在分布交互仿真中占有重要的位置。通信可以采用可靠的单点传送，也可以采用广播通信或组播通信。在 DIS 研究的第一阶段，网络通信多采用广播式传送，在 HLA 中,则采用了组播技术。

HLA 以其更合理的结构、更有效的运行方式使得其代替 DIS 成为必然。美国国防部规定把 HLA 作为美国国防部所有仿真的技术结构，并规定从 1999 年开始,不再投资与 HLA 不相容的项目,从 2001 年开始淘汰所有非 HLA 的项目。在国内，大量的研究还是基于 DIS,因此,在研究 DIS 时一定要注意系统与 HLA 系统的融合性。

1.4.3 DR 机制

DR(Dead Reckoning)是 DIS 中普遍采用的一项技术，它可以在仿真精度和通信带宽之间进行很好的折衷，即可以在一定的仿真精度要求的前提下，大大减少仿真结点之间的状态信息传递次数。

由于网络通信带宽的限制，仿真结点间不可能在每一仿真帧周期都进行信息交换。因此,我们采用低阶运动学 DR 模型代替高阶准确模型的方法来推算实体运动状态，从而达到在满足一定精度的前提下最大限度地减小网络通信量的目的。接口处理器中包括两类 DR 模型:一类为本结点的 DR 模型，接口处理器根据本结点的 DR 模型了解其他结点对本结点的状态估计，同时通过判断估计状态与本结点中准确模型计算出的真实状态之差是否超出给定的阈值来决定状态修正信息的发送；另一类为相关结点中仿真实体的 DR 模型,接口处理器可根据此 DR 模型推算其他结点中相关仿真实体的状态，并将这些推算状态提供给本结点使用（如飞机姿态和相对位置的显示）。接口处理器还要对其他结点发来的状态更新信息进行处理，以更新接口处理器中其他仿真实体的 DR 模型。

1.4.4 时钟同步技术

时间一致性和空间一致性是 DIS 系统中的典型问题，时空一致性是指 DIS 各仿真结点或各软件对象的行为根据所模拟的时空关系，按严格规定的时序进行，以给用户造成逼真的和符合真实世界的时空感受。作为一个分布式系统，导致 DIS 时空不一致性的因素包括：

(1) 各结点的本地时钟不同步（未校准于某同一时钟，即时间一致性问题）；

(2) 网络阻塞导致仿真结点间的信息传输延迟；

(3) 消息接收顺序与发送顺序不一致。

在分布交互仿真中，这些时钟的不同步会导致仿真结点对时间的观测和理解上的不一致。时钟同步对于减小仿真环境的时空不一致性是十分重要的。时空一致的仿真环境首先要求时间一致，即各仿真结点之间的时钟偏差尽可能小。时钟同步技术是 DIS 的关键技术之一。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

1.4.5 接口处理机制

分布交互仿真是对已有系统的集成。如何将这些地域上分散、不同的制造厂商生成、系统的硬件和软件结构配置各不相同、实体表示方法与描述精度各异的仿真结点联结起来，就成为研究人员有待解决的问题，也是分布交互仿真技术中的关键。仿真器具有自己的仿真约定，而这些约定不一定遵从分布交互仿真协议。因此，要将这些结点纳入分布交互仿真环境中，就必须对其进行适当的修改和扩充。如果这些修改和扩充完全通过仿真结点来实现，将会给仿真结点造成很大的处理负担。此外，一旦结点脱离分布交互仿真环境独立运行时，还需将上述改动复原，这就破坏了仿真结点各自的独立性。故这种方法通用性差，效率较低。引入接口处理器(Interface Processor,简称 IP)的目的正是为了解决由于联网而附加给仿真结点的负担，从而减少对仿真结点所做的修改，最大限度地维护结点的独立性。换句话说，结点间的交互作用首先通过接口处理器进行预处理，从而将各个结点的差异封装起来。因此，接口处理器是仿真器联网运行的必要装置，也是分布交互仿真中的一项关键技术。

接口处理器作为分布交互仿真中的一项关键技术已经成为共识。目前，接口处理器与仿真结点的联结一般有两种方式：一种是将接口处理器驻留在网桥中，通过局域网与仿真结点联结并进行数据交换；另一种采用反射内存系统来联结仿真结点与接口处理器。反射内存是美国 Encore 公司的专利技术，它可以在分布式系统中实现数据交换和共享。

接口处理器主要完成网络平均传输延迟的测定、时钟同步的实现、协议数据单元的发送和接收、时戳机制的实现与网络传输延迟的补偿、DR 机制的实现和坐标变换与数据格式变换等功能。

1.4.6 计算机生成兵力

作战人员战术训练仿真是 DIS 最主要的应用方面之一，受训一方的交战对手可以由三种方式提供：对手可以是另一组受训人员；对手可以是受过专门训练的培训人员；对手可以由一台仿真器提供。仿真器可以生成和控制一个或多个对抗仿真实体，由此仿真器提供的兵力称为计算机生成兵力，或称为半自动兵力（Semi-Automated Forces,简称 SAF)。它克服了前两种方式的缺点，并可在一个结点上提供多个实体或构成威胁环境。 CGF 系统具有在单台计算机上大量计算和生成兵力并为这些兵力赋予智能行为的功能，而且还具有如下结构特点，即一名操作人员通过操作员接口管理 CGF 结点中的多个计算机生成兵力。

CGF 是构造大规模 DIS 仿真的关键技术,它不仅可以扩大 DIS 仿真战场的规模、实体种类和数量,而且成本低廉,节省人力。目前，CGF 的研究主要涉及 CGF 动态模型的建立与简化、CGF 实体间的交互关系、CGF 系统的可视化、CGF 对抗效果评价、CGF 行为决策等方面。

1.4.7 VVA

仿真系统建模与模型的校核、验证与认可(Verification, Validation and Accreditation,简称 VVA）是提高仿真结果置信水平的重要方法，是仿真领域的一个重要前沿课题。仿真

所基于的模型在反映真实世界时，必须具备与其用途有关的足够的逼真度，否则仿真的价值就很小。为此，就要针对 DIS 演练的特点，制定有效的 VVA 方案。

1.4.8 仿真管理技术

DIS 中涉及大量的仿真结点，为了更好地使各结点在时空一致的仿真环境中运行，必须对仿真结点的运行过程(初始化、启动、暂停、中止)进行管理、协调和调度。

分布交互仿真管理是分布交互仿真的关键技术之一。通过对仿真开始的初始化、演习进行中的记录与监控、演习结束后的分析与回放进行管理，使整个演习在管理系统的监督与控制下进行。利用此管理系统可以为决策者提供信息支援。

1.5 军用仿真技术面临的挑战

“作战仿真是军事人员的‘作战实验室’，这似乎已经成为人们的普遍共识。然而，从目前仿真技术的发展和应用情况看，这种作战实验室的功能还远远没有得到应有的发挥。究其原因主要有两个方面：一是仿真对象——作战系统本身的复杂性，二是当前作战仿真技术支持能力的有限性。问题的解决只能依靠作战仿真技术的进步，这给未来作战仿真技术的发展提出了严峻的挑战。下面仅从军事需求和技术需求的角度提出问题。

1.5.1 仿真对象的复杂性

作战系统是对立的双方在特定的时间和空间内，参与军事斗争的所有要素及其相互作用所构成的统一体。作战仿真模型必须充分地描述系统要素之间的相互作用和影响，这些相互作用和影响表现为两种形式：

(1) 协同——单方内部要素的相互作用表现为协同关系。

(2) 对抗——对立双方要素的相互作用表现为对抗关系。

作用内容分为两种：

(1) 信息作用——作战要素通过对接收信息的分析、判断和决策，影响自己的主动性行为。如由作战命令、报告导致的协同行为，由敌情情报导致的对抗行为。

(2) 物质作用——作战要素由于受到其他作战要素的物理和化学作用，影响自身的状态。如兵器的协同或对抗将导致相关作战实体数量和质量的变化。借助于包括人在内的各种感知系统，可以获取物质作用信息，进而影响自己的主动性行为。

从时间过程考虑，作战系统的运行可划分为三个阶段：作战准备阶段、作战实施阶段和作战结束阶段。作战系统的生灭过程随着对立双方相互作用的逐步强化而产生，随着这种作用和影响的逐步弱化，向非系统转化，直至最后不复存在。作战仿真模型必须能按照正确的时序和逻辑关系全过程或分阶段地模拟其中的信息作用和物质作用机制。然而，要做到这样逼真的模拟将是一件困难的事情。

同一般的离散事件系统和连续系统的仿真相比，作战系统仿真要复杂得多。这是因为作战系统本身就是一种复杂的动态随机系统，具有大系统的典型特征：

(1) 规模庞大。作战系统由众多分系统、子系统构成，如陆、海、空兵力系统，多种多样的武器系统、作战资源信息系统、指挥控制系统，各种作战保障、装备保障和后勤保障系

统等。这些系统占有空间大,涉及范围广,具有分散性。

(2) 结构复杂。作战系统的各子系统之间、各子系统的组成要素之间关系复杂，系统中包含各种各样的人和物,具有“人一物”、“人一人”、“物一物”之间的多种复杂关系。

(3) 功能综合。作战系统的目标是多样的，有政治的、经济的、军事的和技术等，作战的各方为了各自的目标进行抗争。因而，作战系统的功能也必然是多方面的、综合的。

(4) 因素众多。作战系统是多变量、多输入、多输出、多目标、多参数、多干扰的系统。在这众多的因素当中,不仅有物的因素,还有人的因素,不仅有技术因素,还有经济因素和社会因素等。

(5) 主动性(Activity)。作战系统是主动系统(Active System),包含主动环节一人,例如各级各类指挥员、操纵各种武器的士兵、各种保障人员等。如何考虑人的因素，如何建立个人和群体行为模型是作战系统分析研究中的一项技术难题。

(6) 不确定性。作战系统中有许多不确定因素，例如模糊性、随机性、对象特性漂移或摄动（结构或参数）。难以用传统的确定性数学模型进行描述以及通常的方法进行控制和反控制。

(7) 不确知性。作战系统是包含大量不完备信息、不确知数据的系统，难以建立适当的、完备的数学模型,进行精确的定量分析。

(8) 维数灾。作战系统含有众多的要素（实体），要建立其数学模型必须描述各相对独立实体的众多属性及其相互影响。因此，作战系统的数学模型是一种高维的，即状态变量数目甚多。系统分析和计算的工作量随维数增多而迅速增长,导致所谓的“维数灾”。

(9) 发展中的系统。作战系统在其运行过程中，自身也处在发展当中，系统的结构和要素、系统的目标和环境条件、系统特性和功能也处在变化当中，可称之为“发展中的系统”。这种系统难以用常规的方法进行分析与研究。

(10) 分散化。作战系统不仅具有空间上的分散性，而且具有时间上的分散性。前者表现在作战系统的诸子系统和诸多要素通常分布在不同的地域和空间上；后者表现在作战系统的诸子系统和诸多要素并非贯穿于系统的整个生命周期，而是在许多离散的时间点上不断加入系统或退出系统。

作战系统的上述特征给作战仿真系统的建模带来了重重困难。然而，在另一方面人们对作战仿真支持能力的军事应用需求却在不断增强，这给作战仿真技术的发展提出了严峻的挑战。

1.5.2 军事需求问题

随着计算机网络技术的发展,自 20 世纪 80年代初开始，作战仿真技术的研究和应用逐步从单机环境转向了网络环境。由于网上作战仿真能够更加逼真地模拟大规模的复杂的军事行动，其仿真能力是远非以往的基于经验或半经验定量模型、基于统计或纯理论定量模型的单机作战仿真所能比拟的。因此，基于网络的分布式作战仿真受到了世界各国的普遍关注。从仿真器联网 SIMNET到基于 DIS 仿真协议的平台级作战仿真，再到基于ALSP仿真协议的聚合级作战仿真，分布式作战仿真技术获得了长足的发展，展示了良好的应用前景。然而，从国内外研究和应用现状来看，作战仿真技术的支持能力与广泛而又迫切的军事需求相比，仍然存在着较大的差距。从用户角度分析，作战仿真应用中普遍存

在的问题有以下几个方面：

(1) 系统应用单一。不同部门的作战仿真系统根据各自的需要 采用特有的体系结构和技术途径进行独立开发,应用单一,不能在同一个仿真环境下进行多种目的的仿真实验。

(2) 系统可信度低、可靠性差。许多作战仿真系统没有经过严格的检验、验证和确认。

(3) 系统维护与扩展困难。仿真系统内部要素耦合度高，不易分而治之。

(4) 系统应变能力不足。难以适应多种多样的、不断变化的军事需求。

(5) 技术滞后。尽管在仿真系统设计时采用了先进的支撑技术，但由于系统体系结构上的缺陷，未来出现的新技术将难以采用，到系统交付使用时或在系统使用过程中，所采用的技术已相对落后,如软硬件平台、通信技术等。

(6) 周期长，费用大。作战系统本身的复杂性必然导致作战仿真系统的复杂性，因此构建作战仿真系统，特别是构建大规模的分布式作战仿真系统时必然要耗费大量的时间、经费、人力和物力等资源,这有其必然性。然而,如何缩短工程周期、降低开发费用、提高效费比也是用户迫切要求解决的问题。

这些问题的存在严重地制约着作战仿真系统的开发和应用，反映了仿真技术的发展水平和军事需求之间的差距，也为未来的作战仿真的发展指明了方向。随着武器系统和指挥系统等仿真对象的日益复杂，未来的作战仿真必将广泛地采用分布式仿真技术，它要求能够集成多个部门开发的不同类型的仿真应用,能够实现‘真实仿真’、‘虚拟仿真’和“构造仿真”的无缝联结。这种一体化的作战仿真代表了 21 世纪的发展方向，其主要趋势有：

(1) 在体系结构上，由集中式、封闭式发展到分布式、开放式和交互式，构成可互操作、可重用、可移植、可伸缩及具有强交互能力的对等式协同仿真体系结构。

(2) 在功能上，由单个武器平台仿真、单兵种仿真，到多军兵种联合作战环境下的体系与体系对抗仿真。

(3) 在手段上，从单一的构造仿真、真实仿真和虚拟仿真发展到集上述多种仿真为一体的综合仿真系统。

(4) 在效果上，由人只能从系统外部观察仿真结果发展到人能进入系统内部，与系统进行交互，并取得身临其境的感受。

1.5.3 技术需求问题

需求牵引和技术推动是作战仿真发展的两个原动力。军事需求为作战仿真技术的发展指明了方向，作战仿真技术则以军事需求为研究问题和解决问题的目标与归宿。要克服仿真能力与军事需求之间的矛盾，需要解决下列诸多方面的技术难题：

一、体系结构的开放性

开放性的目的是建立一种具有广泛适用性的系统结构框架，在这一框架下可以实现各类系统或子系统的集成，以构建大规模的和多用途的作战仿真。主要的集成对象包括：平台级作战仿真器、聚合级作战仿真模型、评估和预测类分析模型、C^4I 系统和实际武器系统等。

二、系统的可扩展性

可扩展性的目的是在系统的整个生命周期内，保证其功能随用户需求的增长及外部技术支持能力的增长而增长。保证其性能不随系统规模(如接入的结点数或对象数)的扩大而恶化，或者保证系统的关键性能指标仅随系统规模的增长而缓慢下降。

三、子系统的互操作性

互操作性的目的是保证各类仿真子系统能够有机地耦合在一起，它是构建大规模作战仿真系统的基本前提。互操作性的实现依赖于统一的系统结构框架、一致性的系统表达方法和统一的系统接口规范。

四、仿真组件的重用性

重用性能使建模与仿真组件供多方使用，以提高仿真建模效率，缩短工程周期。重用性的获取旨在提高构建仿真系统的效率和质量，其根本途径是实现构模要素的模块化、标准化，并具有通用性。为此，仿真系统的组合要素应分为通用基础支撑构件、准通用构件和专用构件三类。通用基础支撑构件的作用类似于各类建筑赖以立足的地基，它为各类仿真系统提供一种通用的构建和运行支撑环境。准通用构件是按照一定的标准和规范建立起来的仿真对象模型或其他构模要素。在仿真建模时，根据特定仿真应用的需要可选择部分准通用构件,经过对它们进行简单的增、删、改维护后,即可用于构建所需要的仿真模型。专用构件是为满足特定应用领域的需要而独立设计的部分。同准通用构件一样，专用构件也必须按照一定的技术标准和规范进行设计，具有准通用构件的特征，待其完善后应置于准通用构件库中，以备后用。这种一次开发、重复使用的构模策略将显著地提高构建作战仿真系统的效费比，并有助于改进仿真系统的质量。

五、模型表达的复杂性

作战仿真系统开发者的核心任务是利用建模实现仿真。实际系统是由许多对象（实体或事物）组成的，模型则是这些对象及其内在联系和相互作用机制的一种表示，仿真的本质就是利用模型系统的运行来考察实际系统本身。因此，模型的准确性和合理性是仿真质量的关键。而作战系统所具有的特殊性和复杂性，使其仿真模型的表达更加困难。

(1) 模型需要表达的对象种类繁多，主要包括：作战部队（又分为不同的军种和兵种)、作战装备(又有大类、小类和型号之分)、作战环境(包括地形、海况和天气等)以及作战对象(多种多样,千变万化)。

(2) 就模型种类而言，仿真系统中既有数学模型又有物理模型；既有定量模型又有定性模型；对含有人的结点，还应有人的智能行为模型。要进行分布式仿真，这些模型的概念必须一致，信息必须相容。

(3) 作战仿真系统的模型可能分布在不同地域的众多结点上，它们各自描述不同作战实体。实际作战系统结构的层次关系决定了描述它的模型体系也呈现出多层次的结构特征。而且不同层次的模型又具有不同分辨力，各结点模型既具有独立性又具有很强的相关性。

所有这些特点，极大地增加了仿真建模的难度。

六、时空和逻辑的一致性

时空和逻辑一致性是指在仿真运行过程中，系统各结点软件对象的状态和行为必须同所模拟的实际对象的状态和行为保持所需要的一致性，即各类事件的触发、实体间的相

互影响和状态转移都必须符合客观世界所规定的时序关系和因果关系，给作战仿真回路中的人提供逼真的时空感受。通常，这种一致性要求取决于仿真的目的，不同的仿真应用会有不同的时空和逻辑一致性要求。例如，聚合级作战仿真是一种基于逻辑时间推进的仿真，它要求事件的发生和相互影响保持正确的逻辑关系，没有实时性的要求。而平台级作战仿真是一种实时仿真，它对时间、空间和逻辑的一致性提出了很高的要求。为此，在系统设计时不仅需要提供高速的处理机和通信网络，而且要求仿真程序对数据流进行精确的控制和智能化的处理，以防止任务长时间的停滞或意外中止而不能对其他任务作出及时的响应。

在作战仿真系统中，影响时空和逻辑一致性的因素包括：

(1) 各结点的本地时钟不同步（未校准于某同一时基）；

(2) 网络阻塞导致结点间消息传输延迟；

(3) 消息接收顺序或发送顺序的不良处理；

(4) 实体状态转移算法的不客观性。

七、浸入式人机交互仿真机制

作战系统是最复杂的人机系统，作战仿真系统必须恰如其分地表达和表现战场上的个人和群体行为。这不仅需要有完善的人机交互界面，而且需要仿真模型有相应的处理和响应机制，正确地反映人和机器的作用。

八、融合多种模式的时间管理机制

未来的作战仿真系统需要包容兵力仿真模型、评估分析模型、实际作战系统和指挥控制系统等各种各样的组成要素。就时间管理而言，它们可能呈现出下列不同的技术特征：

(1) 使用不同的事件排序方法,如 DIS 系统常用的按接收事件的顺序处理事件， ALSP 系统常用的按时间图章顺序处理事件。

(2) 使用不同的内部时间流控制机制，如按时间步长推进的仿真、按事件驱动的仿真、独立时间仿真以及不需要进行时间管理与推进机制的分析模型和 C^4I 系统等。

(3) 使用不同的时间推进速率，如实时仿真、比例化实时仿真(scale real-time)和尽快仿真(as-fast-as-possible simulations).

(4) 使用不同信息传输协议的仿真，如采用同步传输协议的仿真和采用异步传输协议的仿真。

(5) 使用复合技术的仿真，如在作战仿真系统中，有些事件的处理必须按照一定的顺序(如时间图章)进行,要求其相关信息的传输具有很高的可靠性,如装备毁伤事件。而有些事件的处理没有严格的先后顺序要求和可靠的传输要求，如实体位置更新事件，其位置信息可根据相应的 DR 算法进行预计，这些事件则可按接收的顺序予以处理。

由此可见，能否融合不同的时间管理机制是实现各种仿真互操作的关键。

九、辅助建模工具的不充分性

对于传统的连续系统或离散事件系统仿真，目前已经研制了许多专用仿真语言、支持工具甚至专家仿真系统，这些仿真工具极大地减少了用通用编程语言编制仿真程序的工作量。然而，由于作战仿真系统的复杂性，目前仍然停留在用通用编程语言编写仿真程序的阶段。因此,研究与开发作战仿真 CASE 工具甚至专用语言也是作战仿真技术发展中的一项重要课题。

需要全本请访问 www.ertongbook.com