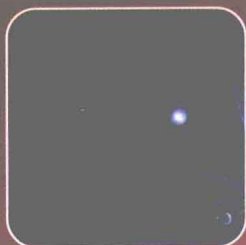


中国仿真科学与技术书系

“十一五”国家重点图书出版规划



**S**IMULATION SCIENCE

# 现代战术通信系统仿真设计

何明利 范喜全 姜永广 等著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

“十一五”国家重点图书出版规划  
中国仿真科学与技术书系

# 现代战术通信系统仿真设计

**Simulation Design of Modern Tactic Communication System**

何明利 范喜全 姜永广 等著

电子工业出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京·BEIJING

# 序

信息化是军队现代化建设的重点，而军事通信则是信息化的基础。与机械化战争时代相比，信息化时代的军事通信技术及其支持下的军事通信系统有着突出时代特征。特别是在战术通信领域，将传统的模拟有线通信和电台点对点话音通信模式，转变为由各种数字电台、卫星通信终端、数据链、网关设备和网管系统等组成的互连网络，形成数据、话音、图像等信息高速无缝传输能力，为作战部队在高速机动中，动中通、扰中通、抗中通，提供可靠保证，是世界各国争相夺取的现代军事通信制高点。

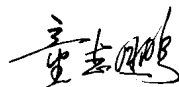
以数字化和网络化技术为基础的现代战术通信系统，综合集成了软件无线电、认知无线电、光通信、卫星通信、移动无线通信、IP 网络等高新技术，其设计显然不是简单的技术堆砌，一方面要按照相应技术领域的发展情况，有预见性的择优选择单体技术实现途径，如信源信道编解码、抗干扰、数字化射频等，另一方面，则要按照战术指挥信息传输要求和标准化要求，统一设计系统体系结构，优化设计包括智能寻址、数话同传、网络管理、网络安全等在内的系统综合集成方案，以确保系统功能性能达到最优。这无疑是一项复杂、艰巨的工作。

从 20 世纪 90 年代起，发达国家以数字化部队建设为目标，在军事技术领先思想的指导下，以安全网络体系结构设计、多波形多波段终端、集成方案优化设计、通信链路抗干扰高速数据传输等为重点，显著加快了现代战术通信系统的建设步伐。针对战术通信网络节点数量大、传输链路易受地形地物影响、数字化通信设备编配应用缺乏经验、干扰与抗干扰对抗激烈等系统建设难题，主要采用了构建开放式原型网络系统，开展系统半实物仿真设计的新型设计方法，力求为系统原理分析、技术可行性验证、系统制造、系统应用和持续完善提供全过程、全寿命支持。

本书作者和团队长期从事现代战术通信系统的研制工作，其研究成果曾获得多项国家、军队科技进步奖励。凝聚其十几年的设计经验和成果而成的本书出版，对推动现代战术通信系统设计方法自主创新，具有积极推动作用。

是为序。

中国工程院院士



# 前 言

信息通信技术的发展加快了战术通信系统的更新速度。随着地面、空中、太空各种通信装备的不断出现,战术通信系统的概念、范围、手段等发生了巨大的变化。由于战术通信系统日趋复杂、规模日趋庞大,使战术通信系统的研制变得越来越复杂。传统的经验、试验测试及数学推导等方法难以满足需求,必须采用系统工程的方法。随着科学技术的飞速发展,建模与仿真技术已日渐发展成为独立于理论研究、实验与试验研究的一种基本科学活动。建模与仿真技术以其灵活、可控、经济、快速高效等特点成为通信系统研制开发及系统检验与评估的一种有效手段,成为开发研制大型军事通信系统和复杂武器装备的重要工具。

需求牵引、技术推动和经济支撑,使得仿真技术渗透于我军战术通信系统的规划、设计、研制、应用及训练等各个阶段。但是,无论从广度上还是深度上,我军战术通信仿真的研究与发达国家相比还有相当大的差距。从满足战术通信系统概念论证、战术技术指标确定、系统研制到部队使用全寿命周期需要的角度出发,建立先进、高效的大型战术通信仿真试验环境是十分必要的,也是非常具有挑战性的。

本书是作者在总结多年的军事通信系统科研建设和仿真开发工作经验与成果的基础上,吸取国内外相关论著的精华编写而成。本书将飞速发展的战术通信系统与仿真技术相结合,立足于科技前沿,面向战术通信系统建设的军事需求,对战术通信仿真相关技术进行深入的研究和探讨,对战术通信仿真试验环境的建设和应用等实现技术和设计方法进行系统的剖析,力求深入浅出、易学易用,希望有助于广大读者的学习和工作。最后针对战术通信仿真给出了比较完整的设计实例,这些实例是我们科研工作的总结,通过这些实例,希望能够起到抛砖引玉的作用。

本书共分 10 章。第 1 章首先介绍战术通信系统概念、特点及其发展现状,然后对仿真技术及其发展状况做了简要的描述;并就战术通信仿真的军事需求和仿真技术在战术通信系统中的应用情况做了分析;最后对已有的信道仿真、网络仿真、系统仿真等各类仿真工具做了介绍和总结。第 2 章就国外(以美军为主)的先进大型军用仿真系统的组成结构、应用状况进行了分析,介绍了国外仿真技术的发展方向和建设方法。在第 3~7 章,主要就战术通信仿真中的主要关键技术和方法进行了深入的剖析,其中第 3 章对分布式半实物仿真的概念、体系架构和关键技术等进行了介绍;第 4 章针对战术通信系统的主要要素,描述了其仿真建模基本方法以及协议模型、节点模型的结构组成;第 5 章就战术通信系统可信性的基本问题、基本概念进行了描述,介绍了战术通信仿真可信性保证的工程实施方法,包括人员组织安排、执行过程、形成的工作文档等内容;第 6 章就战术通信系统中的效能评估体系架构进行了描述,并对如何进行指标选取、如何建立指标体系、如何构建评估模型等问题进行了介绍;第 7 章概括了一些当前常用的仿真试验设计一般方法,结合战术通信分布式半实物仿真的试验特点,论述了试验设计在战术通信仿真中的应用。第 8 章在前面几章介绍的仿真技术和方法的基础上,结合作者多年的工程实践经验,给出了一个战术通信仿真环境的构建实例,包括仿真试验环境的体系架构、结构组成、子系统的功能划分、仿真运行流程等内容。第 9 章对战术通信仿真在系统全生命周期中的应用做了介绍,并就仿真如何应用于战术通信系统设计

进行详细分析。最后在第 10 章中分析了战术通信仿真未来的发展方向。

本书是作者团队数十年研究工作的结晶，何明利、范喜全、谭齐、田永春、姜永广、韦涛、莫娴、张建军、王中武、吴茜、杨华、曾杰等参与了编著。何明利、范喜全负责全书的整体统筹，田永春和谭齐负责统稿校改，第 1、10 章由何明利、范喜全、姜永广、王中武等负责编写；第 2 章由何明利、曾杰、谭齐等负责编写；第 3 章由田永春、吴茜等负责编写；第 4 章由范喜全、田永春、谭齐、莫娴等负责编写；第 5 章由谭齐、莫娴、杨华负责编写；第 6 章由韦涛、谭齐等负责编写；第 7 章由谭齐、杨华、莫娴负责编写；第 8、9 章由范喜全、田永春、张建军、谭齐、韦涛等负责编写。李振邦研究员、曾浩洋研究员等阅读了本书并提出了宝贵的修改意见，赖增桂、阳洋参与了部分章节的校稿，这里一并向他们表示感谢。本书的撰写和出版得到北京特种车辆研究所的大力支持和帮助，特此致谢。

战术通信仿真所涉及的学科内容较多，是一个较新的研究领域，而且发展很快，加之我们的理论水平和研究深度的局限性，书中疏漏之处在所难免，欢迎读者批评指正，恳请读者对本书提出宝贵的意见和建议，以便以后不断改进。

何明利

2011 年 4 月于北京

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 战术通信系统	1
1.1.1 战术通信系统概念	1
1.1.2 战术通信系统特点	2
1.1.3 外军战术通信系统发展状况	4
1.2 仿真技术及发展	7
1.2.1 仿真技术发展概况	7
1.2.2 网络仿真技术发展	8
1.3 战术通信仿真	9
1.3.1 战术通信仿真需求	9
1.3.2 仿真技术在战术通信领域的应用现状	12
1.4 主要仿真工具介绍	13
1.4.1 信道仿真工具	13
1.4.2 网络仿真工具	17
1.4.3 系统仿真工具	20
第 2 章 国外战术通信仿真系统	23
2.1 概述	23
2.2 JCSS 系统	24
2.2.1 JCSS 系统概述	24
2.2.2 JCSS 系统体系结构	24
2.2.3 JCSS 模型结构与设计	28
2.2.4 JCSS 信息交互流程	30
2.2.5 JCSS 系统应用	31
2.3 JMASS 系统	32
2.3.1 JMASS 背景与发展	33
2.3.2 JMASS 系统的设计目标	33
2.3.3 JMASS 系统的主要特点	35
2.3.4 JMASS 系统的组成	37
2.3.5 JMASS 的体系结构和模型	37
2.3.6 JMASS 通过 HLA 实现互操作	42
2.4 JWARS 系统	43
2.4.1 JWARS 系统概况	43
2.4.2 JWARS 系统设计和构件	44
2.4.3 JWARS 问题域	44

2.4.4	JWARS 仿真域	46
2.4.5	JWARS 平台域	47
2.5	STOW 系统	47
2.5.1	STOW 系统研制背景	47
2.5.2	STOW 仿真系统构想与能力	48
2.5.3	STOW 仿真系统演习和应用	51
2.6	发展趋势	52
<b>第 3 章</b>	<b>分布式半实物仿真技术与方法</b>	<b>55</b>
3.1	概述	55
3.1.1	半实物仿真技术	56
3.1.2	分布式仿真技术	57
3.2	分布式半实物仿真体系结构	61
3.2.1	体系结构	62
3.2.2	信息流程	64
3.2.3	典型配置方法	69
3.3	分布式半实物仿真的关键技术	70
3.3.1	包截获与包转换技术	70
3.3.2	隧道模拟技术	71
3.3.3	HLA 接口设计	74
3.3.4	时间管理策略设计	78
<b>第 4 章</b>	<b>战术通信仿真模型构建技术</b>	<b>82</b>
4.1	仿真建模方法	82
4.1.1	建模基本途径	82
4.1.2	模型结构	86
4.1.3	模型关系	90
4.2	协议模型	92
4.2.1	物理信道模型	92
4.2.2	数据链路模型	101
4.2.3	网络交换模型	110
4.2.4	业务仿真建模	117
4.3	节点模型	121
4.3.1	模型结构	122
4.3.2	节点关系模型	126
4.4	模型应用	135
<b>第 5 章</b>	<b>战术通信仿真可信性保证技术</b>	<b>138</b>
5.1	基本概念	138
5.1.1	VV&A 的概念	138
5.1.2	仿真逼真度	139

5.1.3	仿真可信度	139
5.2	基本原则	139
5.3	可信性保证技术和方法	141
5.3.1	校核与验证技术	141
5.3.2	仿真系统输出统计分析方法	143
5.3.3	可信度评估方法	148
5.4	战术通信仿真可信性保证的工程方法	154
5.4.1	人员组织安排	154
5.4.2	执行过程	155
5.4.3	形成文档	161
<b>第 6 章</b>	<b>战术通信效能评估技术</b>	<b>168</b>
6.1	基本概念	168
6.1.1	一般术语	168
6.1.2	系统效能	169
6.1.3	评估要素	170
6.2	评估指标体系	171
6.2.1	指标选取原则	171
6.2.2	指标选取方法	172
6.2.3	指标体系设计原则	172
6.2.4	评估指标体系建立	173
6.3	评估模型	178
6.3.1	指标处理	178
6.3.2	指标量化	180
6.3.3	评估算法	182
6.4	战术通信评估体系架构	185
<b>第 7 章</b>	<b>战术通信仿真试验方法</b>	<b>187</b>
7.1	基本概念	187
7.2	试验设计方法研究	189
7.3	战术通信仿真试验设计的特点	193
7.4	战术通信仿真试验设计方法的选择	194
7.5	战术通信仿真试验设计过程	195
7.6	战术通信仿真试验与评估联合设计	196
<b>第 8 章</b>	<b>战术通信仿真环境构建实例</b>	<b>198</b>
8.1	仿真实验环境设计	199
8.1.1	应用目标	199
8.1.2	系统体系结构	199
8.1.3	系统组成	201
8.1.4	工具选择与配置	203



8.2	战术通信分布式半实物仿真设计	205
8.2.1	系统的结构与组成	205
8.2.2	仿真想定与主控	208
8.2.3	网络仿真	216
8.2.4	仿真数据库	222
8.2.5	效能评估	227
8.2.6	半实物接口网关	231
8.3	网络仿真模型	244
8.3.1	建模内容	244
8.3.2	模型体系	246
8.3.3	模型的组织应用	247
8.3.4	模型设计	248
8.4	仿真环境运行与控制	271
8.4.1	仿真规划管理	271
8.4.2	仿真数据交互	271
8.4.3	仿真结果统计	272
8.4.4	仿真运行流程	274
<b>第 9 章</b>	<b>战术通信仿真环境的应用</b>	<b>277</b>
9.1	主要应用方向	277
9.1.1	开发、测量、压力测试	278
9.1.2	互操作测试	278
9.1.3	模型有效性测试	279
9.1.4	接入实物系统, 支持系统联试	279
9.1.5	与网管结合	280
9.1.6	模拟训练系统开发与部队的演习	280
9.1.7	仿真技术开发	280
9.2	仿真在战术通信系统设计中的典型应用	281
9.2.1	基于仿真的网络设计应用	283
9.2.2	网络关键技术的仿真应用	283
9.2.3	网络性能指标的仿真验证应用	285
9.2.4	基于网络仿真的系统优化应用	285
<b>第 10 章</b>	<b>战术通信仿真技术的发展与展望</b>	<b>287</b>
	<b>参考文献</b>	<b>292</b>

# 第1章 绪论

军事通信是为战争服务的，是作战指挥的基本手段，也是决定战争胜负的重要因素之一。随着信息技术的发展和武器装备的进步，战争形态、作战样式正在发生深刻的变化，而通信的地位和作用也越来越重要。

从应用领域角度，可以将通信分为民用通信领域和军事通信领域。军事通信领域又分为战略通信、战役通信和战术通信。本章从战术通信系统的基本概念和特点入手，分析了仿真技术在战术通信系统发展过程中的作用和基本需求，并对战术通信使用的主要仿真工具进行了介绍。

## 1.1 战术通信系统

### 1.1.1 战术通信系统概念

军事通信是伴随武装冲突出现而产生的，随着电子技术渗透到各武器系统并广泛地运用于战场的各个领域，其地位与作用在现代战争中的越来越突出。按照通信保障的范围分类，军事通信分为战略通信、战役通信和战术通信。

战术通信系统是军事信息系统网的重要组成部分。根据常规的分类，战术通信系统是指为保障战斗指挥、在战斗地区内建立的通信系统，按战斗规模，分为师（旅）、团、营战术通信网和相应规模的军兵种部队战术通信网。它主要是以野战通信装备为基本通信手段，并利用战斗地区既有通信设施，由无线电台、有线通信、无线接力通信和野战光纤通信设备等组成。战术通信系统必须为整个作战空间提供战场和共享态势感知的公共通信能力；特别是必须在整个作战空间提供鲁棒的话音、数据通信能力以及与上级战略信息资源的连通性。

外军从 20 世纪 90 年代的“数字化部队”到近年来的新型“信息化部队”的建设中，战术通信技术获得了迅猛发展。代表最新通信技术水平的研究计划层出不穷。以美军为例，陆、海、空三军正在围绕网络中心战的作战思想开发新型战役战术信息系统，着重解决系统的互连互通、“动中通”、信息安全和抗毁能力的问题，实现大容量的多媒体综合业务。其中核心工作是开发面向未来的新的 C4ISR 体系结构。新的体系结构具有下列几个特点：

- 大大促进军用通信系统的横向整合，通信网络的互连互通互操作性增强；
- 数据通信将成为主要业务；
- 通信容量巨增，数据速率自适应可变；
- 卫星通信在军事通信中的作用逐步加强；
- 抗毁及多级安全保密能力提高，能实现加密后的互通。

### 1.1.2 战术通信系统特点

战术通信系统是在野战环境下适应战术应用的通信系统，因其执行任务、运行环境的特殊性，与其他军用和民用通信系统相比较有其自身独特的特点，并为战术通信系统的设计带来了诸多困难，主要表现在：

#### (1) 一体化综合性网络

战术通信系统是一个集指挥、控制、通信与计算机于一体的综合网络，为系统提供灵活、安全、无缝连接的综合业务服务，支持横向和纵向的互连互通，具有抗毁顽存能力，为各级指挥员和作战单元提供及时准确的战场态势，满足高机动条件下战场指挥控制要求。

为满足上述的要求，战术通信系统必须能够利用包括有线、战术电台、微波、卫星、空中通信平台等多种通信手段，搭建多层次通信网络；根据不同作战任务和作战样式，综合运用多种通信手段，灵活组织多种通信网络，为各级指挥员和作战单元提供通信能力和指挥保障。同时，战术通信系统还必须实现与不同兵种通信网络、战略/战役通信网之间的互连互通，实现一体化通信，构建统一的通信平台。

#### (2) 承载业务特殊性

战术通信系统中传递的信息主要包括话音、应用层业务数据、网络管理数据以及各层网络协议产生的信息（如路由通告等）。其中，业务数据按照内容划分主要包括态势感知信息、指挥控制信息、战场环境信息，目前这些信息表现形式主要是文本、文件和短报文，未来随着战术通信技术的发展还将包括更多的图像、视频等多媒体综合信息。根据信息的产生特点，业务数据又可分为周期性业务和突发性业务。其中，周期性业务主要是指一部分态势感知信息，如我军/友军位置信息等，这些信息具有一定的时间敏感性，需要定时传输并且业务的大小变化不大；突发性业务主要是指指挥控制信息和情报等，这些业务的产生具有一定的随机性，同时对传输的及时性和可靠性要求较高。

业务的特殊性造成了战术通信系统业务建模的难度，不同的业务其传输范围、传输的性能要求等是不一样的，它影响网络的拓扑结构、网络各层对业务的服务要求，从而影响战术通信系统的网络模型  $G(N, E)$  与约束条件  $Ru$ ，并与网络节点的队列排队模型、路由选择方式以及 MAC 方式等都有关系。例如为了满足某些紧急业务的传输要求，可能需要它具有很高的优先级，同时需要网络建立专网来保障它的传输。

### (3) 网络节点的移动性

作战部队要求对变化的任务快速反应、快速部署,要求战术通信系统通过无线方式建立可靠的运动通信连接即要求动中通,需要时可建立新的移动 Ad hoc 网络以适应各种战术应用,而且要求有能够移动的骨干网结构,战术通信的基础结构应随着作战部队一起移动,要求能够和前沿的武器平台、单兵进行无线多媒体通信。

不同于民用互联网,战术通信系统中所有通信节点及用户都具有移动性,包括用户(单机)/用户群的移动、单车的移动、指挥车的移动以及子网的移动。对于常规网络,网络拓扑结构基本稳定,不会出现频繁的网络拓扑结构变化。但在战术通信网络中节点具有任意移动性,在移动过程中由于节点的损毁、无线发信装置发送功率的变化、无线信道间的相互干扰以及地形等因素的影响,无线传播条件随时间快速改变,通过无线信道形成的网络拓扑随时都可能发生变化。

网络的移动性是造成战术通信系统与其他系统差异的根本所在。因此战术通信系统  $G(N, E)$  中某个节点对  $\langle N_i, N_j \rangle$  之间的通信信道  $c_{ij}(t)$  是一个与运动模式、速度以及节点之间的距离、地形条件甚至气象条件有关的一个变量。由于运动的连续性与电磁传播特性的影响,因此  $c_{ij}(t)$  可认为是一个与  $t$  有关的变量,  $t$  是具有与时间特性类似的一个连续状态的自变量,  $c_{ij}(t)$  则是一个离散状态的变量,这给系统仿真带来很大的难度,使得它不能采用传统的连续系统或离散系统的经典仿真方法来构建。由于移动性所造成的  $c_{ij}(t)$  时变特性也造成了网络模型  $G(N, E)$  的时变(或叫网络拓扑的动态变化),这给网络建模与刻画带来了极大的难度,造成了状态空间的无限扩大,使得对战术通信网建立完备的数学解析模型并通过数学模型解算网络性能变得几乎不可能,必须通过仿真与数学模型结合的方法来进行性能预测,而且仿真系统的建设方法也不能单纯地采用连续系统或离散系统的经典仿真方法来构建。

### (4) 网络的自组织性

战术通信系统在使用时具有快速部署、随遇通信等特点,因此需要网络具有自组织网的特性,网络的各种通信设施可以随着需要而移动。同时当网络节点毁坏时,网络能自动进行重组,规避可能的风险,这与传统的蜂窝移动网络和无线局域网的典型有中心结构完全不一样。

战术通信系统主要采用无中心的网络结构,也就是无线自组网(Ad hoc Network),也被称为多跳无线网(Multi-hop Wireless Network)。无线自组网由一组自主的无线节点相互合作而形成,独立于固定的基础设施,是一种自创建、自组织和自管理的网络,能快速构建一个移动通信网络。与传统的蜂窝移动网络相比,自组织网络的节点分布式运行,具有路由功能,负责发现和维护其他节点的路由,并向邻居节点发送或转发。

战术通信网的自组织特性使得在设计网络时,不仅要设计灵活的网络结构,而且要

设计网络结构必须满足的约束条件  $R_u$ ，以此来约束网络动态自组织时的行为，确保网络的整体性能指标在各种动态过程中仍能满足网络的设计要求。网络的自组织性还带来了网络模型刻画难度，使得从网络外部无法准确预测网络的内部行为，因此简单地通过网络模型来预测网络性能是不可靠的，必须对网络模型的每个网元的各层协议进行建模仿真，才能真实反映战术通信网整体的动态行为。即必须对  $G(N,E)$  中的  $N$  进行深入的刻画，才能更准确地预测网络的性能。同时由于节点毁坏、网络规划、通信条件等将引起网络某些节点在某些过程中会动态加入或退出网络，因此  $G(N,E)$  中的节点  $N$  的数量不是完全不变的，这给网络设计带来了诸多变数。

#### (5) 多跳通信

从上面的通信网络结构分析可以看到战术通信系统一般是由多个无线网络构成的分层分布式网络结构。由于无线收发信机通信距离有限，当无线网络中移动节点要与其覆盖范围外的节点进行通信时，需要通过中间节点进行多跳转发。同时在作战任务变化过程中，节点的位置相对变化，也可能造成某时刻可直接互通的节点在下一时刻需要通过其他的节点中继来转发信息。

战术通信系统的多跳特性使得网络设计与性能验证变得极为复杂，使得网络的性能指标随着组网模式的变化而波动。性能的波动使得必须通过统计的方式来获得网络的期望性能，这使得通过仿真来获得网络的总体性能变得非常必要。同时，多跳通信使得原本处于同一子网的节点可能收不到广播信息，因此必须对原有的广播方式进行改变。

此外，战术环境下，由于竞争共享无线信道产生的碰撞、信号衰减、噪音干扰、信道间干扰等诸多因素，战术通信网络内的实际带宽要远远小于理论的最大带宽值，并且各个信道的实际速率处在不断变化中。在某些情况下，即使某两个节点对之间的可用信道速率大于业务速率，也可能发生业务服务质量无法得到保障的情况，因此，对一些高优先级的业务，即使它的带宽需求很低，往往也需要选择具有较高带宽的链路或节点进行中继转发，这给网络运行维护带来极大的困难，降低了网络资源利用率。因此在设计网络的管理控制方式和组织运用方式时，除了考虑用户需求和分布以外，还必须考虑业务的性能要求和优先级。

#### (6) 其他特点

除了上述特点之外，战术通信系统还具有有限的带宽和变化的链路容量、分布式网络控制、高的可靠性与安全性要求、设备要求小型化等特点，这些特点也是战术通信系统设计需要考虑的因素，是仿真系统要研究的目标。

### 1.1.3 外军战术通信系统发展状况

从 20 世纪 60 年代起，美军就开始建设栅格状的战场通信网，80 年代后，随着信息技术的进步和发展，美国和英国、法国等北约各国普遍建立了这种栅格状结构的自动化

数字保密通信网，并成为日渐完善的全球信息栅格（GIG）的雏形。由于战场网络的神经末梢是战术系统，在未来战场网络化过程中，美军高度关注其战术通信系统的发展，美军的战术通信系统发展可分为以下几个阶段。

### （1）综合战术通信系统（INTACS）

由于该系统不具备移动和空中通信能力，目前已经成为非主流战术网络通信系统。综合战术通信系统的主要设备包括符合欧美相关标准的设备，具有保密性高、可靠性高等特点，采用有线（光缆）和无线（高频和特高频）传输介质构建通信网并可随时重新组网，最多可容纳 480 个用户，可提供电报、电话、传真和数据通信业务。

### （2）移动用户设备系统（MSE）

MSE 系统是美国陆军军师级战术通信网，是根据“地空一体作战”的思想而设计的。MSE 实际上是为固定指挥所研制的一个半固定的通信系统。在伊拉克战争期间，MSE 暴露出众多问题。首先，尽管这些年来美军对 MSE 进行了多次改进，仍不具备当前要求的动中通能力，工作范围也只有 15 千米，并无法跟上陆军的推进速度。MSE 的这些弱点还“牵一发而动全身”，严重影响了主要依靠它交换信息的陆军作战指挥系统（ABCS）中的多个分系统，包括机动控制系统（MCS）、全信源分析系统（ASAS）、高级野战炮兵战术数据系统（AFATDS）、联合预警系统（JEWIS）和自动化纵深作战协调系统（ADOCS）等。因此，第 3 步兵师战后报告认为，MSE 是“一个必须尽早更换、过时的系统”。其次，班级通信是软肋。尽管伊拉克战争中美军地面部队班际和班内士兵间的通信较之海湾战争时有了长足进步，但仍被美军高层领导视为最担心的问题。陆军精心构建了一个联接所有联军地面部队的通信网，能为指挥官提供清晰的战场态势图；但信息流却不能延伸到位于战术链最末端的快速机动且分散的作战人员那里。最后，冗余设备太多，指战员要从许多不同的系统和网络接收信息，往往处于信息超负荷的情况下，反而影响他们及时做出正确的决策等。

### （3）战术互联网（Tactical Internet, TI）

1996 年美陆军通过商用标准 Internet 规程（IP）、战术多网网关（TMG）和互联网控制器（INC）将 SINCGARS、EPLRS 和 MSE 三种战术通信系统互连组成战术互联网（TI），可为各种作战部队和平台提供数据、语音、图像和视频信号等大容量信息的传输线路，解决战术环境下移动数据通信等问题。

美军战术互联网系统组成如下：

- 单信道地面机载无线系统（SINCGARS）；
- 互联网控制器（INC）；
- 增强型位置报告系统（EPLRS）；
- 近期数字化电台（NTDR）；
- 战术多网网关（TMG）；
- 移动用户设备（MSE）战术分组网（TPN）。

美军战术互联网的体系结构如图 1.1 所示。

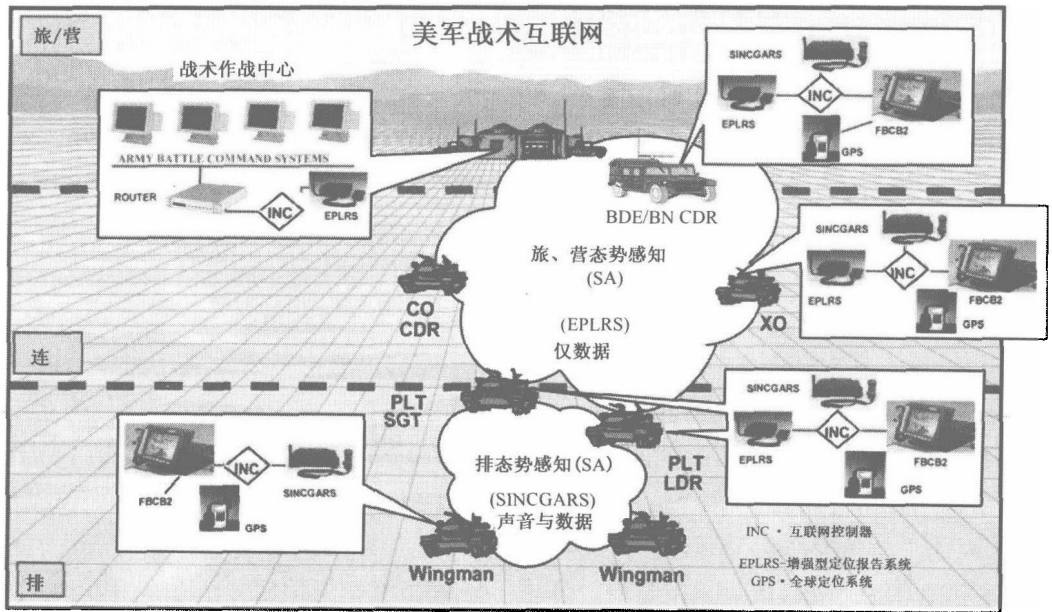


图 1.1 美军战术互联网结构图

#### (4) 战术级指战员信息网 (Warfighter Information Network-Tactical, WIN-T)

WIN-T 是美国陆军机动、高速、大容量骨干通信网络，将地面作战人员与指挥官和全球信息栅格联系在一起，是陆军下一代战术通信系统，用于替代 MSE、Tri-Tac 等系统。WIN-T 大量采用符合联合技术架构 (Joint Technical Architecture, JTA) 的商用现成技术，采用开放体系结构，方便将来吸收先进技术，并灵活地插入可用的技术改进型部件；WIN-T 的管辖区域从战区到营一级。在初始开发和作战测试中，WIN-T 项目小组在 4 个不同区域的 14 个网络节点上演示了机动、网络化的视距和非视距链路上传输基于 IP 的话音、视频和数据，自恢复网络工具，卫星跟踪和自适应信号恢复，实施态势感知下的网络作战，网络安全、安全通信以及协同工具等功能。

除美国外，英军现役的战术通信系统有“松鸡”战术通信系统 (PARTMIGAN)、多功能无线电系统 (MRS) 和增强型 MRS 2000。“松鸡”是英军第二代语音数据通信系统，MRS 和 MRS 2000 属第三代，目前主要装备了北约和中东一些国家的军队。

法军装备的有里达 (RITA) 自动综合传输系统和改进后的 RITA 2000 系统以及第四代无线电系统 PR4G。其中，RITA2000 系统采用先进的交换体制、通信协议和传输设备，主要用于构建战役战术广域通信网，实现营以上大型指挥所之间的互连，在提供的服务支持能力上与固定网络基础设施相似，但能够根据需要部署于战场的任何地方并能够随着部队作战的推进提供不间断的作战地域内通信覆盖；PR4G 主要用于构建营以下

战术通信网，能够为指挥官提供灵活、反应迅速的通信链路，提供动中的话音和数据通信服务。

## 1.2 仿真技术及发展

### 1.2.1 仿真技术发展概况

仿真技术，如果从1929年美国空军飞机练习器——林克机为代表算起，已有半个多世纪的发展历史了。半个多世纪是仿真技术发展成熟的过程。科学发展也遵循自然规律，从简单到复杂，从对它的粗浅认识到深入了解，它发挥的作用，解决的实际问题，从辅助的科学方法到解决重大工程问题的必要手段，仿真技术在计算机技术、网络技术、图形图像技术、多媒体技术、软件工程、信息处理技术、控制论、系统工程相关技术的支持、交叉、融合下，逐渐形成了一门交叉科学，成为了认识客观世界的除理论、实验技术之外的第三种方法。

仿真学科的发展，有几个重要阶段，形成了一定时期的主导技术及学科方向。包括：

- 1945年~1975年 模拟计算（包括混合计算）及类比（相似）仿真方法与技术；
- 1975年~1985年 数字计算及数值仿真方法与技术；
- 1985年~1995年 网络计算及分布交互仿真方法与技术；
- 1995年至今 一般建模与仿真实论及方法论。

模拟计算及类比（相似）仿真方法与技术，基于不同系统之间所具有的结构上的相似性原理，即数学模型上的相似性。一个机械的弹簧阻尼系统，与一个电的电感及电容电路系统之间，具有结构上的相似性，后者可以作为前者的模型进行仿真实验与研究。1945年研制成功的电子模拟计算机，就是一个通用的类比仿真器，可用以建立具有微分方程数学结构的一类动力学系统模型。

1956年国际模拟计算协会 AICA 的成立，表明类比仿真技术的主导地位。在随后的10年中，大量的模拟仿真专著出版，也说明类比仿真方法与技术的成熟。

数字计算及数值仿真方法与技术，是基于对系统数学模型的近似计算，即通过一组算法，把各种复杂的数学模型转化成为一组可迭代计算的算术运算。数值仿真的工具是数字计算机，一个可高速迭代运算的算术运算器。人们一般称这种模型为计算机模型。由于数字计算机的迅速发展，到20世纪70年代后期，数值仿真在交互性、实时性、精确性、灵活性和通用性等方面，都基本超越了类比仿真方法，取代了前者的主导地位。



1976年国际模拟计算协会 AICA 更名为：国际仿真数学及计算机协会 IMACS，并召开了主题为“系统仿真”的第九届世界大会，这标志着面向系统的数字计算及数值仿真方法技术主导地位确立。

从严格的角讲，网络计算及分布交互仿真方法与技术，应是数字计算及数值仿真方法与技术的一种延伸，因为从建模理论和方法学上看，它相对于后者并没有根本的变化。核心问题是，建立一个基于分布计算机网络的交互仿真环境；要解决的问题如资源共享、软件重用、时间调度，以及建立统一的框架、标准及规范等，大多属于仿真支撑环境的问题。从1985年到1995年这10年间，它一直主导了这一时期仿真学科发展的主要方向。其最有影响的一个成果，是高级体系结构（High Level Architecture, HLA）的研制与公布，它最终提供了一个复杂大系统分布交互建模与仿真的技术支撑环境框架、规范与标准。

### 1.2.2 网络仿真技术发展

网络仿真是近年才发展的一种新的网络辅助规划和设计技术，如果在真实的网络环境中进行性能研究、网络规划、设计和开发，不仅耗资大，而且在统计数据的收集和和分析上也有一定困难。在实际工作中，往往通过网络仿真软件来模拟和估算其性能，通过模拟和仿真来调整一些网络参数以期达到最佳的使用效果。

网络仿真是以系统理论、形式化理论、随机过程和统计学理论、优化理论为基础。网络仿真软件通过在计算机上建立一个虚拟的网络平台，来实现真实网络环境的模拟，网络技术开发人员在这个平台上不仅能对网络通信、网络设备、网络协议、网络规划以及网络应用进行设计研究，还能对网络的性能进行分析和评估。另外，仿真软件所提供的仿真运行和结果分析功能使开发人员能快速、直观地得到网络性能参数，为优化设计或做出决策提供更便捷、有效的手段。因此，运用网络仿真软件对网络协议、算法等进行仿真已经成为计算机网络通信研究中必不可少的一部分。

随着网络和通信技术的不断发展，网络仿真以其突出的优越性越来越受到网络研究人员的关注和重视。专用的网络仿真软件也因此得到快速的发展和更为广泛的应用。仿真软件的开发和完善不仅为网络技术开发、网络性能理论分析、网络设计方案评估及网络故障诊断等提供了强有力的工具，还大大缩减了开发时间，提供了研究效率。目前，各大学和研究所在进行网络研究和开发时普遍使用仿真软件进行网络环境模拟和网络性能测试分析。可以说，网络仿真软件的广泛应用既方便了网络技术的开发，又减小了投资、节约了资源。因而，必将得到更为广泛的应用。

网络仿真是一个很有用的网络研究工具，它以系统理论、形式化理论、随机过程和统计学理论、优化理论为基础。在设计阶段，仿真方法可提供一个虚拟模型来预测并比较各种方案的性能；运行阶段，通过对不同环境和工作负荷的分析和比较，来优化系统