网络空间作战建模仿真

司光亚　王艳正　著

科学出版社

网络空间作战建模仿真

司光亚　王艳正　著

科学出版社
北京

内 容 简 介

通过构建计算机模型，在作战实验室中对网络空间作战进行仿真实验研究，对于创新网络空间新作战概念和促进新时代军事运筹发展具有重要作用。本书在归纳网络空间作战建模仿真面临的新挑战的基础上，形成一套相对完整的建模仿真理论和方法体系，对网络空间作战建模仿真进行了积极有益的探索。

本书适合军事学、计算机科学与技术、网络空间安全、信息与通信工程等学科师生，以及网络空间作战理论创新、先进建模仿真技术研究人员使用，也适合关注网络空间技术发展和作战样式变革的广大读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

网络空间作战建模仿真/司光亚，王艳正著. —北京：科学出版社，2019.3
ISBN 978-7-03-059214-9

Ⅰ.①网… Ⅱ.①司…②王… Ⅲ.①信息战-作战模拟-仿真模型 Ⅳ.①E866

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 241830 号

责任编辑：魏英杰 / 责任校对：郭瑞芝
责任印制：吴兆东 / 封面设计：铭轩堂

科 学 出 版 社 出版
北京东黄城根北街 16 号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com

北京虎彩文化传播有限公司 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销
*
2019 年 3 月第 一 版 开本：720×1000 B5
2019 年 3 月第一次印刷 印张：21 1/4 插页：2
字数：434 000

定价：160.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

作者简介

司光亚，1967 年 3 月出生，国防大学联合作战学院副院长，博士生导师，少将军衔。曾获中国科协“求是”杰出青年实用工程奖、全国优秀科技工作者、全军学习成才先进个人等奖励。入选国家“百千万人才工程”和军队首批创新人才工程，享受国务院政府特殊津贴。

长期从事军事运筹学、大型计算机兵棋系统研发与运用等相关领域的教学和科研工作，主持完成多项国家、军队重大课题研究。先后获国家科技进步奖二等奖 2 项，省部级科技进步奖一、二等奖十余项。

王艳正，1976 年 11 月出生，博士，国防大学联合作战学院工程师，专业技术上校军衔。

长期从事大型计算机兵棋演习系统中新型空间作战建模仿真相关教学和科研工作，主持完成 4 项国防科研课题研究，参与 20 余项国家、军队重大课题研究，发表论文 40 余篇。先后获军队科技进步奖二等奖 3 项、三等奖 3 项。

序　一

从作战模拟的角度来看，网络空间不同于传统的物理空间，我把它归为第二类空间。因为这个空间是一个虚拟空间，其中的所有运动规律都与物理空间不大相同，所有的作战行动都会按照其独特的规律进行。比如，在物理空间中，坦克可以以每小时69公里的速度机动，而在网络空间中实体运行的速度都以光速进行。而且，这个空间又与认知空间关联，其运行规律又不一样，是物理空间与认知空间的桥梁。人类对物理世界的很多认知都是借助网络空间映射完成的，这就免不了出现无意的误差或有意的误导，如电子干扰。因此，对网络空间、网络作战行动及效果进行建模仿真，就给我们带来很多的难题。

第一，网络空间建模难，难就难在网络空间虚无缥缈，与传统建模方法相比有很大不同。在这个虚拟空间中，“实体”都不是实的，而是“虚”的，如何描述就很成问题，如病毒、木马和漏洞。由于与物理空间的运动规律不一样，对虚体行为的描述也非常困难，比如信息的流动、拥塞或传播，又如系统启动、软件运行、接口方式等。其实，就是对网络空间本身建模，也不像物理空间中的地理环境那样直观，不是只对网络链路建模就可以完成的，而是需要从不同层次按不同逻辑进行才行。这也不是一件容易的事情。

第二，网络空间作战建模更难，难就难在网络作战行动很难描述。网络作战涉及的部队、武器装备、编制编成、指挥控制等如何描述？网络防御、网络攻击、网络建设、网络控制等各种作战样式如何描述？各种作战行动，如漏洞挖掘与补丁、主动休眠与唤醒、情报侦察与反侦察、DDoS攻击与主动防护、摆渡攻击、黑客行为等如何描述？想一想哪一件都不是简单的事情。这不是将传统的陆、海、空、天作战行动平移到网络空间就可以的。而且，网络空间作战的兴起也就是近些年的事情，许多作战理论和方法还都在摸索之中，就更谈不上建模与仿真了。

第三，网络空间作战效果的表达更是难上加难，难就难在这些效果很多都是以体系或间接的方式体现的。这种体系或间接效果会涉及多级的连锁反应和级联失效，能影响到多大范围，毁坏到什么程度，都是难以计算的。例如，对电网的攻击影响范围多大，间接影响到的交通又有多大等。即使是对直接效果计算，因为网络作战行动规律还没有被很好地总结，又缺乏基础性数据，因此也很难完成，比如漏洞挖掘效果的概率多大？病毒感染的过程如何反映？都很难给出确切的结论。最后，由于虚拟空间的计算结果直观性缺乏，人们又没有深刻的经验，因此在可信度上就很难衡量，自然很难被大家认可。

第四，还有另外一个难题，就是网络空间作战行动模型与其他作战行动模型接口很难。这是因为网络空间与物理空间不在同一个空间，所以两者之间的相互影响如何正确接口就成为难题。而且，网络行动的影响效果经常体现在体系和局部两个极端上，在仿真模型的颗粒度、仿真步长，以及层次选择上，就会经常出现相互矛盾的情况。因此，在不同的作战模拟系统中，如兵棋系统，如何建立两个空间的相互影响关系，就需要从系统体系结构上重建，而不仅仅只是对模型进行扩展。

这样的问题其实还有很多。但不管困难如何大，网络空间作战已经摆在我们面前。世界许多国家，比如美国的网络战部队已经成军，网络战已成为未来战争绝不会缺席的组成部分。作为作战训练、战争模拟、武器装备发展的重要工具，网络空间建模仿真已经不是想不想搞的问题，而是必须去解决，以及如何去解决的关键问题了。国内外许多学者已经开始了这方面的研究，做了大量的工作，取得了很多进展。但也毋庸讳言，由于难度太大，很多工作仍在摸索之中。

但我们不可能等到把一切都想清楚再去做，事实上那也是不可能的。只有通过不断实践去摸索，才能深化认识和理解，才能知道我们是否走在了正确的道路上。正如恩格斯所言：认识就其本性而言，或者对漫长的世代系列来说是相对的，而且是逐步趋于完善的。由于历史材料的不足，甚至永远是有缺陷的、不完善的，而谁要以真正的、不变的、最后的、终极的真理标准来衡量它，那么他只能是证明他自己的无知和荒谬。对于网络空间作战建模仿真这个新生事物来说，就更应该如此。

《网络空间作战建模仿真》一书，可以说就是作者在这个领域长期探索的阶段性成果。这本书是司光亚及其团队经历了大约十五年思考的结晶和工作成果的总结。不同于其他网络仿真的技术书籍，它从一开始就从作战角度思考问题，这就使该书有了其他技术书籍所没有的特点和创新的意义。书中提出的很多理论和方法都具有开创意义，研究的很多案例也都有很好的参考价值。虽然还是初步研究成果，也可能没有完全解决和回答上面提出的那么多难题，但进行尝试本身就值得肯定。我相信，读者可以从中读出他们对网络空间和网络作战行动的深刻理解和思考，以及对虚拟空间建模仿真方法研究的心得与体会，更能够读出他们对攻克这个领域难题的决心和必胜的信心。

司光亚教授和王艳正博士希望我能为他们的书写个序，所以我有幸先睹为快。写序不敢当，但我作为他们的师长很愿意谈点感想，并向读者推荐此书。相信该书的出版，一定能够促进我国网络空间作战建模仿真理论、方法与技术的研究和发展，为新一代战争模拟系统的研发提供有力的支持！

胡晓峰少将
国防大学教授
中国仿真学会副理事长

序　二

十多年磨一剑，司光亚教授和王艳正博士合著的《网络空间作战建模仿真》即将出版，意义非常重大。这是面向战略战役层次利用建模仿真手段研究网络空间作战的为数不多的一部重要著作。他们带领团队在网络空间建模领域已深耕多年，其中很多内容具有很重要的理论和学术价值，我很早就想看到他们将这些长期积累的研究成果整理出版，今天能够看到书稿非常高兴。

该书直面学界公认的网络空间作战建模重大难题。网络空间已发展成为国家安全的新疆域和联合作战的新作战域，应用前景广阔。当前，网络空间作战正以其威力巨大的战争潜力和优势明显的作战样式，剧烈颠覆着人们的国家安全观、战争观和联合作战理论，已引起各国政府、军队和学界的广泛重视。在作战实验室中，利用建模仿真手段研究网络空间作战是一条意义重大的可行思路，业界广泛认同未来战争在很大程度上将是在实验室中设计出来的。但是，不同于陆、海、空、天等自然物理空间，网络空间及网络空间作战更多地集中在信息域和认知域，以往重视地理位置机动、火力打击毁伤、有生力量伤亡的传统建模理论和方法，在网络空间作战建模时大量失效，人们在描述网络空间新概念武器、新作战样式和全新作战效果时茫然失措。在阅读本书时，广大读者朋友会惊喜地发现作者完全没有回避这些重要且头痛的问题，体现了研究团队的学术敏锐和勇敢胆识，提出这些问题本身就是对该领域研究的一个重要贡献。

该书创新了一套相对完整的网络空间建模理论和方法体系。每一种建模理论和建模方法都与建模目的有直接关系，这一点对于网络空间建模同样也适用。司光亚和王艳正两位同志从国家安全和网络防御作战角度，针对在战略战役层次缺乏支持安全分析、战法创新、指挥训练、装备论证，以及方案评估等的网络空间模型的迫切需求，创造性地提出一系列网络空间作战建模仿真解决方案。书中围绕网络空间建模框架、网络空间作战实体建模、网络空间作战行动建模和网络空间作战网络化交互效应建模，创新了诸如虚实结合、静动结合、自适应认知规则，以及级联失效等建模先进理念和方法。更为难得的是，他们还介绍了研究团队多年来长期积累的大量丰富的实践案例，非常有助于读者理解相应的建模理论和方法，也能够为业界专业人员开展类似的网络空间建模仿真研究提供有效的理论和实践借鉴。

该书开启了网络空间作战建模仿真研究的广阔舞台。目前，除了这些创新性的建模理论和方法，网络空间作战建模仿真还有很多基础性的工作要做。例如，本书提到的网络空间建模框架和网络化交互效应建模，到底还会有多少新的建模要

素需要加进建模框架？它们之间是何种关系？网络空间作战交互最为基础的单元级效应到底还有哪些？该如何分类并进行描述？同时，网络空间作战建模仿真急需的数据工程该怎么设计、建设？诸如此类基础性问题还需要长期艰苦的研究工作。此外，网络空间和网络空间作战才初见端倪，未来必将迅猛发展。

该书迈出了可喜的第一步，关于下一步网络空间和网络空间作战将会以何种无法预测的方式加速演进？网络空间建模还会面临哪些现在还无法想象的难题和挑战？这些都需要业界继续保持敏锐的学术态度，继续开拓网络空间建模仿真研究领域。

“十年隐忍苦耕耘，
宏著终成宇内闻。
诚惶不避欣为序，
献芹共勉草玄君。”

预祝司光亚教授的团队能够在网络空间作战领域再有新的建树！

郭世泽研究员
国家信息技术安全研究中心

前　言

从PC时代到最初的互联网时代，再到规模巨大的移动互联时代，网络化已经成为信息时代的特征。尤其是当下，伴随着云计算、大数据、人工智能的飞速发展，智能物联网时代也已初露端倪，智慧城市、智慧地球将很快从概念变成现实，人类将生活在一个更加智能的网络化空间。人类以什么样的方式生产生活，就会以什么样的方式作战。网络空间从诞生的第一天起，就已经是一个新型作战空间。未来的战争，对抗各方不但依托网络空间围绕保持己方网络空间行动自由并限制对方网络空间行动自由而展开激烈对抗，而且还要借由网络空间制权向陆、海、空、天等作战空间实施跨域作战。在该领域，美军一直走在前列，不仅成立了独立的网络作战司令部，网络战部队也已成军，并在打击IS的行动中首次实施了战术层级进攻性网络空间作战。其他各国也不甘落后，网络空间作战已经不是一个炒作的概念而是现实的作战行动。作为研究战争的重要工具，网络空间的建模仿真已然成为一个绕不开、躲不过的关键问题，也是当前军事运筹和建模仿真领域的一个热点问题，更是一个难点问题。作为长期从事作战模拟的科技工作者，和国内外许多学者一样，我们也在该领域进行了一些初步探索。

从2004年研制第一个网络模型算起，我和团队同事开展网络空间建模仿真研究已有15个年头了。当时，在胡晓峰教授的指导和支持下，我们研究的重点是战略决策模拟系统，由于需要构建涵盖政治、经济、军事、外交等领域的“全球战争空间”模型，自然而然地就把国家关键基础设施建模纳入研究视野，围绕战略模拟训练的需要，开始探索通信网、电力网等国家关键基础设施网络的建模。到了2007年，我们团队开始研发全军第一个大型计算机兵棋系统，研究重点转到战役层次的体系对抗仿真问题。我具体牵头负责新型信息化武器装备、新型作战力量和新型作战行动建模的任务，就开始围绕指挥控制网、预警探测网、通信网等战场网络及相关作战行动开展建模仿真研究。2010年，网络空间作战的内外大环境都发生了巨大变化。其标志性事件就是美军在2010年正式宣布组建网络战司令部，多个国家军队先后出台一系列实质性举措。此时，网络空间已经被公认为是一个新的作战空间，成为作战模拟领域不得不研究的一个新的对象，我们开始更为系统地开展网络空间作战建模仿真理论与方法研究，并得到国家自然科学基金委员会和原总装备部预研重点基金的支持，又经过8年多的艰苦努力，在网络空间作战实体、作战行动和作战效果的建模理论、建模方法和关键技术等方面取得了一些突破和进展，构建了一批用于训练的仿真模型和原型系统。

本书要介绍给大家的内容，就是我们对这15年里关于网络空间作战建模仿真实践探索的梳理和总结。需要说明的是，这些研究主要是来自我们在战略、战役层次作战模拟领域的建模仿真实践，有些地方不一定完全适用其他层次和类型。考虑本书是目前专门讨论网络空间作战建模仿真的为数不多的著作之一，借此希望本书能对从事该领域研究的专家学者提供一些参考，并希望得到广大读者朋友们的指正和批评。伴随网络空间和网络空间作战样式的不断发展，网络空间作战建模仿真研究也将面临更多新的挑战。本书介绍的网络空间作战建模仿真成果还仅仅是初步的，我们也只是本着科技工作者的科研热情，且怀着谦逊的心情将这一家一时之言介绍给广大读者，哪怕只引起“网络空间作战很重要，非常值得在作战实验室中用建模仿真手段进行研究”的学术共鸣，我们便感到欣慰了！

本书是在近30份研究报告、博士论文和博士后研究报告基础上重新梳理提炼完成的，可以说是汇集了整个团队的研究成果，是集体智慧的结晶。书稿撰写的具体分工如下：司光亚负责全书设计和统稿，并撰写第1、2、7章；王艳正撰写第3～6章，并参与全书统稿。书中直接或者间接引用了宋勇、张芳、张枣、徐义、智韬、李春亮、吴元立、王飞、丁剑飞等博士学位论文中的部分内容或成果，附件中是他们的有代表性的学术成果。此外，还参考了赵晔博士后、李昌锦博士后、秦欣博士后、孙超博士后、肖宝亮博士等研究报告中的部分成果。许多研究人员和研究生也参与了相关内容的研究和原型系统的研发工作，他们是张明智、杨镜宇、罗批、李志强、吴曦、贺筱媛、张阳、杨国强、赵国辉、唐本富、王玉帅、朱尚卿、夏腾飞、李保强、梁荣晓、齐剑男等。胡晓峰教授和郭世泽研究员不仅在研究过程中给予了很多直接的指导，还欣然为本书作序，感谢他们的充分肯定和鼓励。

感谢国家自然科学基金“Cyber网络化效应建模方法研究”(61273189)、“基于仿真大数据的武器装备体系效能评估及复杂性机理研究”(U1435218)等项目的支持。感谢装备发展部武器装备预研重点基金项目和武器装备预研项目的大力支持。感谢军委战略规划办公室、战略支援部队、军事科学院、国防科技大学、电子信息体系国防科技重点实验室、中国科学院软件研究所等多家合作单位给予我们的支持和帮助。还要特别感谢汪成为院士、李德毅院士、沈昌祥院士、戴浩院士、尹浩院士、吴曼青院士、方滨兴院士、陈志杰院士、吕跃广院士、王沙飞院士，以及邹鹏、吴玲达、老松杨、郭世泽、赵刚、杨林、战晓苏、苏金树、钟力、詹世贤、朱俊茂、陆余良、汪永益、徐帆江、王积鹏、吕品、白亮等领导和专家的关心帮助与大力支持。本书引用了许多国内外的文献资料，在此对相关文献的作者和研究人员一并表示感谢。

感谢国防大学校首长、校机关，国防大学联合作战学院院领导、院机关，以及国防大学原信息作战与指挥训练教研部的各届领导和专家给予我们的帮助和支持，为我们提供了优越的科研环境和全军顶级的实践平台。感谢联合作战学院联合作

战演训中心的领导和全体同志的支持和帮助。本书的完成是我们整个团队共同努力的成果。感谢胥秀峰博士对本书大量公式格式的修正。感谢战略支援部队杜娟高工和段榕高工对本书给予的有益指正。感谢科学出版社的魏英杰编辑，为本书的出版提出了许多具体的建议并付出了辛勤的劳动。

最后，特别感谢我们的家人，在十几年的研究过程中，他们始终是我们最坚强的后盾！

司光亚

目　录

第1章 新 挑 战

1.1 引 言

“一旦技术上的进步可以用于军事目的并且已经用于军事目的，它们便立刻几乎强制的，而且往往是违反指挥官的意志而引起作战方式的改变甚至变革。”[①]随着科学技术，特别是信息技术的飞速发展，人类迎来了大变革的网络时代。人们在享受网络带来的空前便利与繁荣的同时，网络空间也正成为维护国家安全的新疆域和争夺军事制权的新作战域。

进入21世纪，两个事件让无数军事爱好者着迷，也让无数军事专家陷入沉思。第一个事件，2007年4月，爱沙尼亚成为历史上第一个政府级别关键基础设施遭受大规模网络攻击的国家，标志着网络攻击成为一种能够影响国家安全的新型威胁。第二个事件，2007年9月6日，以色列成功偷袭叙利亚疑似核设施，以色列非隐身战机之所以能突破叙利亚严密的防空体系，其间极有可能借助了网络攻击手段。在军事领域，该行动几乎已成为网络空间作战的经典案例。此后，2008年俄格冲突中的网络空间作战、2009年针对伊朗核设施的“震网”病毒攻击、2010年的西亚北非“茉莉花革命”、2013年斯诺登披露的“棱镜门”事件、2014年索尼公司遭网络攻击、2016年乌克兰电网遭网络攻击，以及2017年俄运用电子对抗手段应对无人机蜂群袭击，都不断强化着这样一个趋势：网络空间作战正以一种迥异于传统物理空间作战的全新姿态登上战争舞台。十余年间，网络空间作战已向人们展现了其影响深远、神秘莫测、飞速发展的一面。令人不禁浮想，未来的网络空间作战会发展成什么样子？会怎样影响未来的信息化局部战争？

1.2 新 空 间

网络从最初谋求互联的人造产物，开始逐步进入战争视野。在这个历程中，有很多标志性事件。

1836年，电报诞生，使人类迈出远程通信的第一步，所采用的摩斯电码与计算机通信的二进制比特流原理近似。

---

① 参见《马克思恩格斯军事文集》第2卷，战士出版社，1981年版，第362页。