

# 大数据时代指挥自动化系统可能面临的挑战

韩雅良<sup>1</sup>, 李晓陆

(1. 广州海格通信集团股份有限公司 广州 510663; 2. 海军驻广州地区通信军事代表室 广州 510663)

**摘要:** 指挥自动化系统是一个与当代技术关联密切的复杂系统。本文力求解析宽带移动通信、传感网、云计算、大数据等新技术应用对信息化战争形态下 C<sup>4</sup>ISR 系统体系的影响, 并结合大数据技术趋势探索可能的应对方法。

**关键词:** 复杂系统; C<sup>4</sup>ISR; 大数据技术; 影响

## 0. 引言

指挥自动化系统也称 C<sup>4</sup>ISR(Command, Control, Communication, Computer, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance)系统, 即指挥、控制、通信、计算机、情报、侦察、监视综合信息系统, 是现代高技术信息战争中获取信息优势和决策优势的基础和核心, 也是一个与当代技术关联密切的复杂系统。特别是信息化战争形态下, C<sup>4</sup>ISR 系统的运行效能及演进方式, 将极大程度地受到宽带移动通信、互联网、传感网、物联网、云计算等新技术发展的影响。伴随这些新技术的突飞猛进, 信息与数据“海啸”汹涌而至, 大数据概念与技术也应运而生, 并引起了包括军事在内的各个科学领域的高度重视。目前, 大数据泛指规模在几十 TB 和数 PB 之间, 涵盖了处理速度、复杂度、多样性的数据集合。鉴于各国政府部门积极尝试“用数据决策、用数据管理、用数据创新和用数据说话”, 我们应当关注大数据对军事指挥控制自动化的影响, 同步地更新和发展 C<sup>4</sup>ISR 系统的装备与技术, 才能形成战场全维度的“洞察和知晓”能力, 实现“发现即摧毁”、“不战而屈人之兵”的理想目标。

## 1. 战争的复杂性与信息化战场的复杂体系

由于具有“非线性、不确定性、自组织临界性、整体涌现性和不可重复性”等一般复杂系统的所有特征, 战争系统是典型的复杂适应性系统早已在系统工程领域得到一致认可。进入新世纪后, 信息化浪潮加剧了现代高科技战争的变化, 战争对信息技术与全源数据的依赖性越来越强, 战争系统也从局限于军事领域向覆盖政治、经济、社会等全方位转变。从这个角度看, 经典的牛顿科学体系方法(即: 第一步将复杂战争系统分解、第二步在简化的层次上实施研究分析后进行指挥与决策)显然不适用于战争系统。特别是现代信息化条件下的战争需要诸军兵种一体化联合作战, 涉及到陆、海、空、天、电磁、网络、心理等多维空间, 是由多个具备自主性和适应性的实体组成, 实体间错综交互、易产生系统综合涌现性的复杂系统。作为战争神经中枢的 C<sup>4</sup>ISR 也应是一个在复杂信息网络约束下, 体系与体系对抗、作战人员直接参与、具有自适应和动态特性的演进式体系。

随着国际环境的变化, 我军担负的职能任务正呈现“应对危机、维护和平, 遏制战争、打赢战争”的多样化趋势, 我们的实际作战环境、作战对象与作战任务也发生了巨大改变: 首先, 在未来战争中可能的强敌干涉情况下, 将需要应对来自陆、海、空天、电子、电磁以及网络等多方位的干扰和攻击; 其次, 信息化战场环境下的 C<sup>4</sup>ISR 系统同时接入的服务器数量与数据信息可能以指数级增长, 面临“信息超载”; 再则, 隶属不同军兵种的飞机、舰船、装甲车、前出分队等武器平台或作战单元, 很可能需要进行多军兵种的协同, 在高强度的对抗环境中完成作战行动。这种面对强敌、协同作战的环境可能会更加凸显 C<sup>4</sup>ISR 系统的 SOS(System of System)复杂体系特征, 即除了规模庞大、组分复杂、类型多样外, 组分系统之间的耦合与关联加强, 体系运行中人为因素的参与和协调增多, “多网联动”和“多域铰链”需求明显。例如: 需要综合通信传输、指挥控制、预警探测、空间卫星、任务关系、影响关系、社会关系、保障支持等多个可独立运行的网络, 建立合理的拓扑结构, 对来自多军兵种、遍布于多空域及多频域的多种武器平台和多个作战单元的多类型的大数据进行高效采集、分析、挖掘与处理, 快速形成决策参考的能力。因此, 大数据环

境下复杂体系实体之间的信息流动以及流动品质必然成为考验 C<sup>4</sup>ISR 系统基础坚实性的严峻难题。

## 2. 指挥自动化系统的关键基础设施架构演进研究与复杂网络建模

处于联合作战环境的 C<sup>4</sup>ISR 体系关联到参战己方所有系统和涉及的社会资源系统，体系所含的子系统（或实体）相对独立，但必须通过相互作用而产生某种结果，C<sup>4</sup>ISR 系统框架的普适性就成为问题。我们必须研究基于复杂网络的分析方法、构建以信息网络为核心的体系作战模型，在有效度量复杂网络架构的体系作战能力、通过多种宏观高层的可视化描述进行指挥控制的同时，积极跟进大数据技术、顺应技术趋势探索 C<sup>4</sup>ISR 系统网络体系架构的演进优化方法。

实际上，目前已显现出这种网络体系架构优化的表现：

- 1) 服务器对服务器的水平架构——由于情报数据可能存储在大量几何分布的各类服务器中，指挥员的一个搜索或查询涉及到多个服务器，服务器之间的数据交换（信息交换）远多于客户与服务器的交换量，因此，网络体系结构将逐渐向服务器与服务器之间的水平架构演进。
- 2) 指挥自动化信息交换执行下沉——因为一方面只有尽可能将较大颗粒度的交换在底层进行才有可能达到太比特级的路由速率；另一方面通信指挥网绝大部分业务流并不需要在 IP 层交换，所以网络交换执行层下移是必然结果，虽然配置消耗的时间长一点，但减少了比特/分组的处理与功耗，能节约网络扩容投资。
- 3) 通信管道智能化——大数据环境下，C<sup>4</sup>ISR 系统可以利用深度包检测判别用户类型，通过 WAC 广域虚拟网技术促进跨平台分析处理，还将自动识别不同指挥业务类型以进行策略与安全控制，并将通过分布式缓存、流媒体服务器集群等技术实现动态内容分发。这些都趋向智能管道特性。

保障指挥控制系统合理运行，需要建立适应性的系统模型，这是 C<sup>4</sup>ISR 在复杂体系和大数据环境下的又一难题。采用“网络”方法构建模型时，定义可区分的实体和节点很困难，因为节点集的不同确定方式决定着“网络”的规模与密度，进而深度影响系统的定性或定量分析。如果将所有相互作用的元素都归入到一个单元内，也许会造成与现实较大的偏离，被整合的系统或因此而丢失信息。目前主要的建模方法有：基于各类基础设施网络的拓扑结构特征、网络生长特征、采用复杂网络拓扑结构生成算法，构建可仿真的网络拓扑结构模型；将生成的网络结构中各类节点和边采用具有自主性和适应性的 Agent 模型描述；厘清不同实体基础设施之间的关联关系，包括运行关联、物理关联、信息关联、空间关联和职能关联等，并形成混合体系模型；等等。虽然各种建模方法都在探索之中，但尚未形成有效的基础理论和规律。

## 3. 指挥控制系统数据信息处理的复杂性和日益增强的需求

C<sup>4</sup>ISR 系统的大数据处理要求不可避免——与我们熟知的传统数据相比，大数据的不同点主要表现于：第一，一般由机器自动生成，而不是由人授意或干预而生成，例如环境传感，没人触摸或下指令，它也会自动生成周边环境的数据。第二，大数据是一种全新形态数据，而不是原有数据的简单收集和扩展，例如，指挥控制信息系统指令下达，武器平台收集到命令与司令部指挥员直接下令并无本质差别，可能只是数量与范围的扩充。但是，如果作战单元指挥员对作战过程中的行为（路线、环境）进行收集，本质上就产生了一种与传统数据结构相异的全新数据。第三，传统数据源通常是严格定义的，甚至每个比特都有重要意义。随着存储空间的增长越来越多的信息源不关注数据码位开销，而只关注收集最多的数据，因此很多大数据设计不友好甚至不加设计，例如多种探测手段以及不同目标探测传感器组网系统的数据可能以数字、表格、曲线、图像等不规则形态上报。第四，大数据可能有相当多是无价值的。实际战场复杂环境下，大部分频域、时域及空域内传感器采集到数据多数可能毫无意义，形成不得不丢弃的垃圾数据。从上述四点看，传统数据与大数据都是 C<sup>4</sup>ISR 系统整体数据分析策略的基础部分。大数据技术聚焦于对量大、种类多、非标准化的数据进行存储、分析与开发，并通过数据处理、挖掘、共享、交叉复用后获取最大的数据价值来提升 C<sup>4</sup>ISR 系统整体效能。今后，作为复杂系统的指挥控制，不得不面对大数据环境、采纳大数据技术，

并促进 C<sup>4</sup>ISR 系统向多选、多流程、多方向的生态环境演进。可能的发展途径主要包括：可扩展的分析——分析环境与管理环境融合，库内处理模式逐渐取代离线处理模式，可增加分析工具扩展性的海量并行处理 MPP 数据库、云计算、网格计算以及 MapReduce 成为主要技术，这些技术的融合使用将更有力强化 C<sup>4</sup>ISR 系统的分析效能；分析流程改革——在 C<sup>4</sup>ISR 系统运作流程中充分嵌入 SOL、UDF、PMML 等常规数据工具，采用民用领域提倡的分析沙箱的机制为我军分析专家分打造施展环境，通过内部沙箱、外部沙箱或混合沙箱与 MapReduce 等组合处理数据信息，完成高级分析；分析工具和方法更新——由过去简单线性回归或决策树模型到迭代建模再到组合建模、简易建模和文本分析，分析工具、方式和效率都需更新，特别是可视化图形界面、开源工具、单点分析解决方案等技术的演进，不仅是展示华丽的图形，更重要的是得到对分析结论的深入理解。

数据融合与挖掘成为 C<sup>4</sup>ISR 系统核心能力之一——现代复杂作战环境要求武器平台或作战单元装备更多和更先进的传感器接入指挥控制系统，众多的通信、雷达、电子支援措施 (ESM)、光电传感器、武器制导、声纳、IFF 及环境地理感知设备，形成战场信息爆炸。海量信息呈现时一方面指挥决策人员很难迅速从中找到所需部分，另一方面也使得大量单一功能感知信息无人问津，成为网络中的“暗信息”，一般战斗员无法获取。这些传感器所提供信息的时间、表达形式、可信度、不确定性、侧重点及用途各不相同，使信息组合形式的多样性和信息量急增，也致使战场数据融合的步骤与过程更为艰巨。如何对海量信息进行解释、分析和评估，如何对各种传感器的数据进行配准、关联、目标跟踪、特征提取和目标分类等处理，以及如何支持战场态势显示、威胁评估、辅助指挥人员进行决策等，构成了对 C<sup>4</sup>ISR 系统中“1”情报综合判证与辅助决策能力的严峻考验。尤其是在体系与体系的对抗条件下，出色的单一探测感知装备若缺乏体系协同或系统配合会失去效能，在拥有完备体系的对手面前甚至不堪一击。因此，当今世界各国军事部门都在探索复杂战场海量数据的融合、挖掘以及综合生成辅助决策的有效方法，希望通过大数据技术提升自己 C<sup>4</sup>ISR 系统的能力。值得一提的是，数据采集或分析的 IT 基础设施并不是大数据唯一的关注点，而所谓软实力，即复杂分析、战略分析、数学建模和专业统计等能力，更是大数据技术的关注焦点和贡献源泉。未来大数据可能与 C<sup>4</sup>ISR 系统基础设施一样，由数据提供部门、管理部门、监管部门组成并协同操作，而数据的综合性交叉复用将成为 C<sup>4</sup>ISR 系统的核心能力。所以需要突破一些相关技术，如异类传感器的 C<sup>4</sup>ISR 数据融合模型构建、满足任务要求的多传感器数据融合算法、目标身份快速推理判决等技术突破，为现役 C<sup>4</sup>ISR 系统提供不确定性因素的表达、推理和演算，对基于时空活动的行为和意图进行评估和展示；进一步，将大数据技术与神经网络、模糊推理、专家系统、遗传算法等人工智能技术结合，以系统智慧化为目标提升指挥、控制与决策能力。

#### 4. 大数据环境下指挥控制系统信息处理的特质

如果用抽象描述大数据的四个 V 字(即容量 Volume、速度 Velocity、变异 Variety、价值 Value)衡量 C<sup>4</sup>ISR 系统，可以说两者特质极为相似：容量——大数据体量从 tera 跃升到 peta，并逐步逼近 exa 和 zetta 级别；而一个健全的 C<sup>4</sup>ISR 系统，仅战场环境的各类电子装备和传感器数据量，就可能达到大数据级别。速度——与传统数据挖掘概念上不同，大数据要求反应时间迅速，因此关注数据流输入、输出和存储速度；而空海一体的联合网络作战环境尤其要求 C<sup>4</sup>ISR 系统迅速聚合数据并即时响应。变异——大数据要适应囊括了文本、视频、图片、传感器信息等多种非结构化和半结构化的数据类型；而复杂战场环境多变，迫切需要 C<sup>4</sup>ISR 系统实现“按需保存每件事”和“认知每件事”。价值——大数据处理前价值密度低但处理后创新价值大；我军 C<sup>4</sup>ISR 系统则要求能对拥有的数据进行有效过滤和深度挖掘，以可视化的方式呈现数据，精准提供所需数据，并将数据转化为战斗力。

显而易见上述 4 个标志性特征要求 C<sup>4</sup>ISR 系统在数据管理、数据存储、数据计算、数据挖掘、数据呈现和数据安全等方面有一系列技术突破。具体如：管理——数据来自不同探测区域、不同传感器，数据的大小、结构形式、实时性要求等不同，这大大增加了汇聚、编索与整合的难度。存储——按部门、兵种或军种的集中式数据库或数据仓库系统已不适应要求，需要分布式存储处理。计算——支持指挥决策的大量仿

真与计算任务需要数百个参数同时协调进行，且算法复杂度与因子的关系不是线性的，这极大地提高了算法的复杂度（通常达  $N^2$  数量级）。挖掘——来自多个系统(多平台、多时空)的数据聚合后，需要进行抽取、整合、清洗，形成有用数据仓库，大数据情况下需联机分析处理和进行数据挖掘。呈现——为保障指挥层效能，需要将高维图像等多媒体数据降维后进行度量与处理，很多时候还需要一步步可视化中间过程直至最终结果，组合出所谓自动运算或高级智能，支持最高指挥员的直觉和洞察。安全——海空一体战或多军种联合作战条件下，如何在分享、访问控制与安全、隐私保护之间找到平衡，任务更为艰巨。概括而言，我军  $C^4ISR$  系统当前亟需一些实际大数据技术支持提升信息处理能力，如：可视化相关的应用行为统计处理技术 VV(video view)-UV(unique visitor)；数据管理相关的海量日志采集、聚合与传输技术 flume；联机事务处理系统 OLTP-On-Line Transaction Processing；存储相关的数据提取、转换和加载 ETL 技术等等。

## 5. 小结

大数据时代，对指挥控制系统体系进行全新的、基础性的研究与改进是非常必要的。面对复杂战争的指挥控制系统与其他复杂系统一样，存在大量不同实体间动态的相互作用，而不是只反映作战、指挥、通信和情报侦察监视几个关键的个体。目前国内对复杂系统和大数据技术的研究有各自的针对性，从复杂系统的角度建立架构并通过大数据技术提升能力可以说还任重道远。我们认为，研究复杂系统分析方法和充分利用大数据技术趋势，是我军  $C^4ISR$  装备体系探索道路的必不可少的一个阶段。

### 参考文献：

- [1] 郭贺铨，“大数据时代的网络技术与应用”，中国通信标准化协会第十一次大会报告，2012
- [2] 胡晓峰，李志强，“战争复杂系统与复杂网络研究的探索与实践”，上海系统科学出版社，2010
- [3] Research Service Report for Congress. 2002, “Critical Infrastructures: Background, Policy and Implementation”
- [4] 胡代平，王浣尘，“基于多 Agent 的模型系统研究”，上海交通大学系统工程研究所，2001
- [5] Bill.Franks, “TIMING THE BIG DATA TIDAL WAVE” (Finding Opportunities in Huge Data Stream With Advanced Analytics), 人民邮电出版社，2012
- [6] 李明，刘澎等“武器装备发展系统论证方法与应用”，国防工业出版社，2000
- [7] 王新敏，赵洪利“ $C^4ISR$  系统能力研究”，装备指挥技术学院学报，No.5, Vol.16, 2005