

文章编号:1002-0640(2009)11-0031-04

C⁴ISR 系统结构的网络分析*

邓宏钟, 吴俊, 李勇, 吕欣

(国防科技大学信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要:针对现代网络中心战中 C⁴ISR 系统的特点,从复杂网络的角度,对 C⁴ISR 系统结构进行了网络分析。采用基于多智能体的仿真方法,建立了两种 C⁴ISR 系统的网络结构仿真模型,基于这些模型研究了不同网络结构下信息的失真率和延迟量。讨论了信息失真和延迟分别对集中式网络与分布式网络作战效能的影响。结果表明所提思路和方法是正确、有效的。

关键词:C⁴ISR, 网络分析, 作战效能, 复杂网络

中图分类号:TP391

文献标识码:A

The Network Analysis of C⁴ISR System's Architecture

DENG hong-zhong, Wu jun, Li yong, Lü xin

(Information system & management school, National University of Defence Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: In this paper, aim at the character of C⁴ISR system in NCW, network analyzed the C⁴ISR system's structure from the anger of complex network. With the multiagent based simulation method, presented two C⁴ISR network models, Studied the information's distortion ratio and delay amount with the models. Discussed the impact of information's distortion and delay on the operational effectiveness of centralised network and distributed network. The result proved that the method is proper and valid.

Key words: C⁴ISR, network analysis, operational effectiveness, complex network

引言

高技术条件下的现代战争是包括陆、海、空、天、电磁在内的全方位、多领域、诸兵种协同、以网络为中心的战争,夺取信息优势,有效的建设、保护自身的 C⁴ISR 网络已成为各国军事竞争的首要目标,也是当前复杂多变的国际战略环境下,军队军事变革关注的重要问题^[1]。

C⁴ISR 系统是一个集情报获取、传输、加工处理、计算、显示、决策、指挥与控制于一体的复杂系统^[2]。涉及大量的、各式各样的武器中。如何对其进行有效评价是 C⁴ISR 系统建设的重要问题。常规的、通过部队作战演习的方式来分析、评估 C⁴ISR

系统的结构和效能是一种非常有效的方法,但是,这种方法有两个明显的不足:一是作战演习方式花费巨大。不能通过经常性的演习来对 C⁴ISR 系统的效能进行分析。二是对于一些还未应用的、但具有应用前景和重要意义的新技术、新装备和新战术没办法进行评估。这对于新技术、新装备和新战术的选择、发展非常不利。针对这一问题,采用仿真的方法来评估 C⁴ISR 系统的效能成为一种较好的方法。

C⁴ISR 系统也是一个由大量相互协同、相关联的武器装备构成的一个复杂的网络系统。C⁴ISR 系统的网络结构及各节点的功能对于系统效能有重要的影响。在分析 C⁴ISR 系统效能时必需充分考虑这些联系和网络联接所带来的倍增效应和协同效应。对 C⁴ISR 系统进行网络结构分析可以深入研究 C⁴ISR 系统各功能单元间的信息通信联系,相互关系,找出影响网络功能单元间关系的重要因素,分析并找出影响网络性能的瓶颈所在^[3,4]。

针对 C⁴ISR 系统特点,以复杂性理论作为理论

收稿日期:2008-08-31

修回日期:2008-11-25

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(70501032)

作者简介:邓宏钟(1974-),男,湖南衡阳人,副教授,博士,主要研究方向是复杂系统理论,分布式人工智能和遗传算法。

基础,针对几种不同的 C⁴ISR 体系结构,采用复杂适应系统理论为指导来建模、分析 C⁴ISR 系统节点的功能和适应性。以复杂网络理论为指导来对 C⁴ISR 系统的结构进行网络结构分析。通过对不同网络结构下 C⁴ISR 系统的时间延迟分析,作战效能分析,研究了不同 C⁴ISR 体系结构的作战效能和优缺点。结果也表明分布式 C⁴ISR 系统网络结构对于需要快速反应的作战类型,效果最好,更有效。

1 C⁴ISR 仿真评估系统设计

C⁴ISR 系统是一个集信息侦察、通信、指挥、控制与一体的系统。评估环境如图 1 所示:

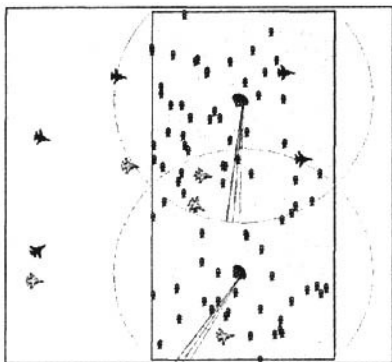


图 1 C⁴ISR 系统评估环境图

评估系统由系统环境、攻击目标、侦察雷达、作战信息处理中心及作战飞机组成。

· 系统环境:仿真的作战环境是一个三维立体空间,平面投影为一个 600 * 600 正方形区域。攻击目标只能在二维地面上运动,位于环境中的黄色长方形区域内部,作战飞机则可在整个三维环境中飞行。

攻击目标:是作战飞机的打击对象,它们随机、均匀地分布在系统中间的黄色区域内,数量为 80。当它被攻击、毁伤时,其颜色将变成黑色或红色。

侦察雷达:系统中有两部侦察雷达。侦察雷达主要是为作战飞机提供攻击目标的相关信息,如攻击目标位置、状态等。侦察雷达有一个侦察范围,两部雷达的侦察区域不相同,只有少量重叠区域,但整个侦察范围可覆盖全部的目标区域。

信息处理中心:主要是收集来自侦察雷达的侦察信息,根据需要进行信息传输、转换和融合。将有价值的信息上报作战中心。

分配和协调,最后形成作战命令下达到作战飞机。作战信息处理中心可以分成多组,独立工作。

作战中心:主要是根据侦察到的信息及作战飞

机的情况进行目标分配,最后形成作战命令下传至各指挥小组,或直接下达到作战飞机。

指挥小组:接收作战中心的作战计划和命令,对其进行更进一步的细化、分解,形成一条条具体可行的命令,最后下达至作战飞机。

作战飞机:主要根据下达的作战命令,对攻击目标进行打击。从系统左边的随机位置,根据侦察信息,朝着攻击目标的方向,向攻击目标飞去。作战飞机可以进行分组(以不同的颜色区分),不同的组接收不同的信息和作战命令,独立进行攻击。在攻击过程中,作战飞机之间可以独立行动,也可以协调行动。

信息失真:在侦察、作战由于目标伪装将使得侦察及攻击信息不准确,假设目标的侦察、攻击准确率为 p 。同时在信息传输过程中,由于线路及信息干扰等原因,必将导致传输过程中的信息产生失真,假设信息传输过程每一个环节的失真率为 q 。则目标信息经过侦察, n 步传输后,最后攻击完成,整个过程中的信息准确率为: $p(1-q)^n$ 。

2 C⁴ISR 体系结构设计

传统的军事系统结构是高度集中的、层次型的,但随着现代计算机技术和通信技术的发展,使得多种多样的、灵活多变的系统结构在军事系统中的采用成为可能。为对 C⁴ISR 系统的结构功能进行网络分析,选择两种典型的 C⁴ISR 系统结构,分别是集中式和分布式。

2.1 集中式网络结构

集中式网络结构如图 2 所示。

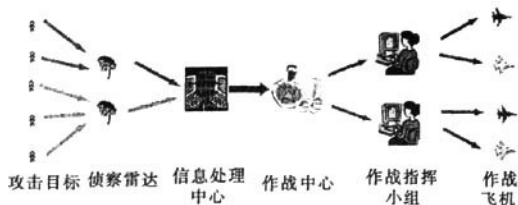


图 2 集中式 C⁴ISR 网络结构

在集中式网络结构中,被攻击目标的信息被侦察雷达捕获并向上传送到信息处理中心,信息处理中心对来自不同雷达,不同地方的侦察信息进行综合分析、加工和处理,再将处理后信息上报顶层的作战中心。作战中心根据上报信息和所拥有作战飞机情况进行任务规划分配,再将作战信息传输出各个独立的作战指挥小组。最后,作战飞机依据自己所属

作战指挥小组下达的作战分配任务进行目标攻击。在集中式网络结构中,系统的信息是从攻击目标经过侦察雷达、信息处理中心、作战中心、作战指挥小组 5 个环节,最终到达作战飞机的。在这一信息采集传输过程中,设定每个环节上的信息延迟量为 1,则总的信息延迟量为 5,信息失真率为: $p(1-q)^4$ 。

2.2 分布式网络结构

相对于集中式结构的高度集中,分布网络结构中的信息传输则简单得多,系统中的分布式网络设计如图 3 所示。

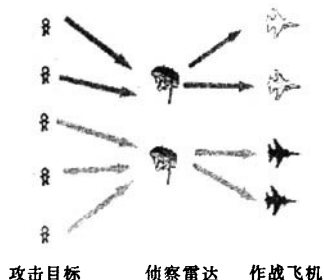


图 3 分布式 C⁴ISR 网络结构

从图 3 中可以看出,在分布式结构中,侦察雷达直接将侦察到的目标信息传输出自己所配置的作战飞机,信息只经过两个环节就到达作战飞机。信息的延迟量只有 2,信息传输失真率只有 $p(1-q)$ 。信息传输路径短而快捷。但是由于各雷达间没有信息协调和交互通道,所以相互间的信息不能共享,在目标的攻击和分配上没有协调。当出现一个侦察雷达内没有可攻击目标,而另一个雷达内,攻击目标太多,作战能力不够时,相互间不能进行协调,不能充分利用系统的功能,不利于 C⁴ISR 系统效能的最大化利用。

3 信息失真、延迟对系统作战效能影响的仿真分析

3.1 仿真初始条件设置

仿真开始时,80 个攻击目标随机分布在环境中的黄色区域内,保持固定。两个侦察雷达分别配置于目标区别的上下部,可实现对整个目标区域的所有目标的有效侦察。两雷达侦察范围有部分重叠。作战飞机分成两个小组,分别用红色和绿色区分,作战飞机根据分配的攻击目标和任务,从系统左侧,两小组以相同的密度,以每个仿真周期一架次的频率,以每个仿真周期 50 个单位的飞行速度向既定目标进行攻击,如果攻击目标被击中,其颜色将变成黑色或红色。如果没有被命中,攻击目标状态不变,作战飞

机不再对本次所攻击目标进行攻击,从系统右侧退出仿真系统。攻击准确率 $p=0.9$,信息失真率 $q=0.1$ 。仿真过程中,主要统计攻击目标毁伤数量达到一半和全部被毁伤所需要出动的作战飞机数量来评价整个网络系统的效能。

3.2 两种网络结构下的信息失真仿真结果分析

3.2.1 集中式结构下的网络效能分析

在集中式结构下,仿真系统初始状态,攻击目标毁伤数量达到一半和全部被毁伤状态的三个截取图如图 4 所示。

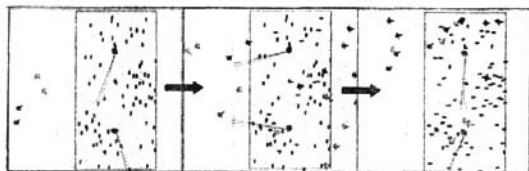


图 4 网络效能分析仿真示意图

从图 4 中所反应出来的作战过程可以看出,攻击目标不断地被毁伤,最终 80 个目标都被毁伤。

在上述仿真过程中,攻击目标被毁伤数量和出动的作战飞机数量统计曲线分别如图 5 曲线所示。

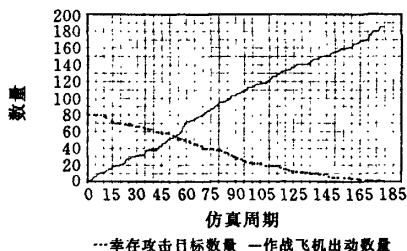


图 5 作战效果统计曲线

在图 5 中,虚线是表示幸存下来的攻击目标数量变化曲线,实线是作战飞机出动总数变化曲线。在图 5 中,可能看出要达到毁伤一半目标的效果,在第 1 次仿真中,必须出动 79 架作战飞机,而要达到毁伤全部目标的效果,则需要出动 184 架次飞机。

为了消除随机因素的影响,可以进行多次仿真,取得其平均值,下面是要达到所需毁伤效果,10 次不同仿真的结果数据表。

表 1 集中式网络结构,无时延仿真结果数据表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
幸存 40 个	79	85	88	72	84	75	93	92	73	72	81.3
全部毁伤	184	202	182	170	169	183	184	196	173	147	179

从上面 10 次仿真结果可以看出,要毁伤一半的目标,平均需要出动作战飞机约 81 架次。若要将全部目标毁伤,则平均需要出动作战飞机 179 架次。

3.2.2 分布式结构下的网络效能分析

在保持其他条件相同,只是网络结构由集中式改变成分布式情况下,10 次仿真结果如表 2:

表 2 分布式网络结构,有时延仿真结果数据表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
幸存 40 个	67	63	57	65	54	55	63	75	58	65	62.2
全部 毁伤	127	134	122	133	132	129	133	149	135	133	132.7

从表 2 结果可以看出,对于采用分布式结构的 C⁴ISR 系统,要毁伤一半的目标,平均只需要出动作战飞机约 62 架次。若要将全部目标毁伤,只平均需要出动作战飞机 133 架次。相比于集中式结构,由于信息传输的中间环节较少,信息传输速度、节奏加快,信息失真较少,作战飞机及整个 C⁴ISR 系统的作战效能得到较大的提高。

3.3 两种网络结构下的信息延迟仿真结果分析失真效果分析

在前面的仿真中,信息传输过程存在信息失真,但没有考虑信息延迟,由于信息的传输、综合、处理、轮换,各个不同的环节都将产生一定的信息延迟,如不考虑信息延迟,模型就不能体现现代高技术战争的特点。在现在的阿富汗反恐行动,美军从发现目标到派出飞机,向目标发动攻击只需要两分钟,其反应速度远远快于海湾战争中反应速度。也正由于这种快速反应所带来的巨大作战效能的刺激,以及反恐战争快速反应的需要(如果反应速度太慢,恐怖分子便会有足够的时间,在美军作出反应之前逃之夭夭),使得美军还在不断地提高其作战反应速度,缩短反应时间,以求达到“发现即攻击”的效果。为此,在模型中,对不同网络结构承受时间延迟的能力进行了仿真分析。为了体现时间延迟的影响,设定被攻击的目标具有规避功能,能够在环境中的黄色区域内随机移动。这样,如果 C⁴ISR 系统反应速度太慢,作战飞机飞临目标上空时,目标早已逃之夭夭。

3.3.1 集中式结构下,有信息延迟的网络效能分析

在采用集中式结构的 C⁴ISR 系统中,由于信息从发现目标到传输到作战飞机要经过 5 个环节,所以设定时间延迟量为 5。表示当作战飞机接收到作战命令时,攻击目标已经移动了 5 次。如果目标移动

较慢,作战飞机仍然能对攻击目标实施有效打击,如果目标移动较快,作战飞机的本次攻击将达到预期效果。表 3 是通过 10 仿真得到的仿真结果。

表 3 集中式网络结构,有时延仿真结果数据表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
幸存 40 个	98	113	108	103	93	106	90	103	98	95	100.7
全部 毁伤	240	244	236	212	227	226	226	236	214	211	227.2

从表 3 结果可以看出:要毁伤一半的目标,平均需要出动作战飞机约 101 架次。若要将全部目标毁伤,则平均需要出动作战飞机 227 架次。相对于前面没有信息延迟时的 81 架次、179 架次,要达到同样的作战目标,所需要的作战飞机数量有较大的提高。

3.3.2 分布式结构下,有信息延迟的网络效能分析

同样,在采用分布式结构的 C⁴ISR 系统中,设定时间延迟量为 2。表 4 是通过 10 仿真得到的仿真结果。

表 4 分布式网络结构,有时延仿真结果数据表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
幸存 40 个	68	70	88	67	67	72	65	67	66	70	70
全部 毁伤	142	163	162	141	156	149	161	157	149	149	152.9

从表 4 结果可以看出:要毁伤一半的目标,平均需要出动作战飞机约 70 架次。若要将全部目标毁伤,则平均需要出动作战飞机 153 架次。对于同样的网络结构,相对于前面没有信息延迟时的 62 架次、133 架次,要达到同样的作战目标,所需要的作战飞机数量也有一定的提高,但提高的不大,相对于集中式结构下,网络作战效能因信息延迟所受的影响要少得多。这说明,由于具有分布结构的 C⁴ISR 系统信息传输环节少,速度快,相比于集中式结构,更能适应现代快节奏的作战模式。

4 结 论

现代高技术条件下的现代战争,具有信息传输量大,信息传输速度快的特点,这对于现代 C⁴ISR 系统结构提出了新的要求,如何研究 C⁴ISR 系统结

(下转第 38 页)

从图中可以看出,利用该方法求得的天线高度不仅填平了已知天线 6.6 km 在处产生的零点而且保证了在[4.4 km, 8.8 km]高度范围内的 $F \geq F_0$ 。

为了进一步验证零点填平法对波瓣分裂的改善效果,以 $h_{20} = 6.8$ km 为例,比较天线高度均为 35 km、自由空间、零点填平法确定的天线高度 3 种情况下(以下简称情况 1、情况 2、情况 3)的干扰效果,仿真如图 6 所示。仿真参数:3 种情况下均假设两部干扰站分别部署在距机载雷达 200 km 东偏北、偏南 30°,其他参数见文献[6]。

图中双划线内部表示情况 1 时的暴露区,虚线内部表示情况 2 时的暴露区,实线内部表示情况 3 时的暴露区。

从图中可以看出:由于干扰站天线高度为 35 m 时,在 $h_{20} = 6.8$ km 处 $F < F_0$,因此目标的暴露区比自由空间要大的多;通过零点填平法确定的天线高度填补了第 1 部天线在 $h_{20} = 6.8$ km 处的零点使得 $F > F_0$,因此目标暴露区较自由空间有所减少,这说明零点填平法起到了改善波瓣分裂效应的目的。

该方法的缺点是要满足零点填平的所有条件就必须根据载机高度来实时调节天线高度,这在装备使用中是不可行的。然而,可以根据载机重点飞行的高度范围来确定零点填平区间,进而给出一个固定的天线高度。

3 结 论

本文在电磁波多路径传输理论的基础上给出了考虑地表反射因素的干扰方程,分析了波瓣分裂效应对干扰站干扰性能的影响。鉴于波瓣分裂对最小有效干扰距离产生的巨大变化,提出了改善波瓣分裂效应的两种方法,即单波瓣覆盖法和零点填平法,最后通过对目标暴露区的仿真验证了这两种方法的有效性。当然,这两种方法都要求预先知道载机的重点飞行高度范围,这可以通过平时的雷达对抗侦察和情报分析处理获得一个统计值。

参考文献:

- [1] 邵国培,曹志耀,倪忠仁,等.电子对抗作战效能分析[M].北京:解放军出版社,1998.
- [2] 罗景青.雷达对抗原理[M].北京:解放军出版社,2003.
- [3] 赵国庆.雷达对抗原理[M].西安:西安电子科技大学出版社,1999.
- [4] 贺静波,席泽敏.一种快速绘制干扰区域的算法[J].现代雷达,2005,27(3):15-17.

- [5] 申绪润,李益民,汪连栋,等.远距离支援干扰与机载预警雷达的对抗仿真[J].系统仿真学报,2004,16(9):2003-2005.
- [6] 王志斌,朱元清.多系统联合干扰机载预警雷达的效能[J].舰船电子对抗,2007,30(5):31-33.
- [7] 游黎瑞.雷达干扰装备掩护点目标时的部署优化模拟[C]//中国电子学会电子对抗学会,1989.
- [8] David K B. Radar System Analysis and Modeling [M]. US:Artech House Inc,2005.
- [9] Merrill I. Skolnik. Radar Handbook, 2E[M]. US: McGraw-Hill Companies, Inc,1990.
- [10] 王国玉,汪连栋,王国良,等.雷达电子战系统数学仿真与评估[M].北京:国防工业出版社,2004.
- [11] Bassem R, Mahafza. Ph. D. Radar Systems Analysis and Design Using Matlab[M]. US,1990.
- [12] Merrill I S. Introduction to Radar Systems, 3E[M]. US, McGraw-Hill Companies, Inc,2002.
- [13] 陈伯孝,胡铁军,郑自良,等.基于波瓣分裂的米波雷达低仰角测高方法及其应用[J].电子学报,2007,35(6):1021-1025.

(上接第 34 页)

构本身对整个作战系统作战效能的影响具有重要意义。本文通过对两种不同的 C'ISR 系统及其作战过程的建模仿真,通过对其仿真结果的网络分析,研究了不同网络结构下信息的失真率和延迟量。讨论了信息失真和延迟分别对集中式网络与分布网络的影响。仿真结果表明,分布式 C'ISR 系统,更能适应现代快节奏作战的需要。其作战效能更高。通过对仿真结果的研究,也说明了,以复杂网络理论为指导来对 C'ISR 系统的结构进行网络结构仿真分析,是一种研究 C'ISR 系统结构功能的有效方法,对 C'ISR 系统结构功能分析及其建设有重要的价值。

参考文献:

- [1] 徐学文,王寿云.现代作战模拟[M].北京:科学出版社,2001.
- [2] 王可定.作战模拟理论与方法[M].北京:国防科技大学出版社,1999.
- [3] Dekker. C'ISR Architectures, Social Network Analysis and the FINC Methodology: An Experiment in Military Organisational Structure [Z]. DSTO Electronics and Surveillance Research Laboratory,2002.
- [4] Dekker. C'ISR, the Finc Methodology, and Operations in Urban terrain [J]. Journal of Battlefield Technology,2005,8(1):15-17.