

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.07.016

## 网络中心作战条件下炮兵指控系统动态重组算法

吕扬, 熊生龙

(解放军炮兵学院 5 系, 安徽 合肥 230031)

**摘要:** 为构建一个能适应网络中心作战 (Network Centric Warfare, NCW) 环境的具有动态重组能力的指挥系统, 分析网络化炮兵指控系统的特点, 介绍指控系统动态重组的概念和实现的物质、技术基础, 在此基础上对动态重组的主要算法进行描述, 介绍应用层路由规划算法、拓扑关系发现算法、指控系统动态重组算法的相关步骤。结果表明, 动态重组能力能保证作战指挥信息的畅通, 提高全武器系统的战场生存能力, 为新一代炮兵指控系统的发展提供理论基础。

**关键词:** 网络中心作战; 炮兵; 指控系统; 动态重组; 算法

**中图分类号:** TP393.02; TP301.6 **文献标识码:** A

### Dynamic Reconstruct Algorithm of Artillery C<sup>4</sup>ISR Based on NCW

Lu Yang, Xiong Shenglong

(No. 5 Department, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

**Abstract:** In order to construct C<sup>4</sup>ISR with dynamic reconstruct ability under the Network Centric Warfare (NCW) circumstance, analyze the characteristics of network artillery C<sup>4</sup>ISR, give the concept of artillery C<sup>4</sup>ISR dynamic reconstruct substance and technology, introduce the dynamic reconstruct algorithm, routing algorithm on application layer and topological relations algorithm. And the answer shows that the ability of artillery C<sup>4</sup>ISR based on NCW can ensure the circulation of command information and enhance the battlefield survivability, it give a theory to guide the development of new artillery C<sup>4</sup>ISR.

**Keywords:** network centric warfare; artillery; C<sup>4</sup>ISR; dynamic reconstruct; algorithm

## 0 引言

炮兵的指控系统 (Command Control Communication Computer Surveillance Reconnaissance, C<sup>4</sup>ISR) 主要承担着情报融合、态势评估、火力计划制订、毁伤效果评估等功能, 能在对抗条件下获取信息优势并转化为知识优势及决策优势, 更有效地实施作战指挥, 将己方部队的作战潜力最大限度地转换为现实战斗力。随着网络中心作战 (Network Centric Warfare, NCW) 概念的深入发展, 如何构建一个能适应 NCW 环境的具有动态重组能力的指控系统, 成为当前一个急需研究的问题。

### 1 指控系统动态重组及相关技术概述

炮兵指控系统的动态重组是指在作战过程中, 如果某个指挥控制节点出现故障、通信中断、被毁等情况, 系统会根据一定的选择条件和算法, 把指挥控制的权限不降级地转移到其它指挥控制节点, 以确保每个时刻都有一个指挥中心统一控制整个战区的作战资源, 防止出现指挥“真空”和“重叠”,

避免火力的重复射击和漏射击情况的出现。指控系统动态重组能力的发展是历史的必然。

1) 指挥系统的动态重组满足了网络中心作战的需要。由于网络中心作战的基本特点是“扁平化”的指挥方式, 故要求指挥控制的权限能够随着情况的发展而转移。网络化结构的炮兵指控系统如图 1。

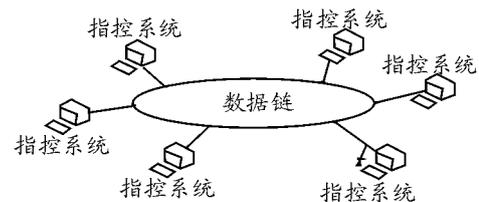


图 1 网络化炮兵指挥控制系统结构

具有动态重组能力的指控系统具有以下优点:

(1) 可根据作战任务要求和作战环境的变化, 依据一定原则和现实可能性, 快速调用作战资源, 重新组合成一种优化的作战状态, 实现自协同, 达到最佳的作战效果。

(2) 可以适时切换指挥中心, 当发挥指挥控制功能的节点发生故障或者被摧毁的情况下, 网络化结构炮兵体系可根据当前作战形势和一定的判断准

收稿日期: 2010-01-25; 修回日期: 2010-03-26

作者简介: 吕扬 (1982-), 男, 安徽人, 博士研究生, 从事兵种战术理论、火力战理论研究。

则, 动态地将指挥中心切换到功能完好、网络连接节点多的其它指挥节点, 以有效提高炮兵体系的战场生存能力, 避免出现重复射击和漏射击的情况, 最大限度地利用作战资源和提高作战效果。比如, 某自行火炮连指挥车被毁后, 传统的指挥控制方式下, 该自行火炮连将失去执行作战任务的能力, 而网络化指挥方式下, 其它单位的指控系统可以代替进行指挥。

2) 信息技术的发展为指控系统的动态重组提供了实践基础。随着计算机和通信网络性能的不断提高以及价格的不断下降, 可以使得网络化炮兵体系内的各个指挥系统配备相同的软硬件环境, 确保各指控系统具备统一的输入输出、性能参数、数据格式、信息平台, 原来只能在上下级之间传递的信息也可以同时横向传递给其它的指控系统, 从而确保各指控系统具有相同的战场态势、相同的指挥控制能力, 为指挥控制权的转移奠定基础。在功能强大的通信网络支持下, 指挥员通过认证技术, 可在任意位置进入网络行使指挥控制权力。战前, 可以指定其中一个指控系统为指控节点, 负责信息融合处理、目标综合识别、威胁判断排序、目标与火力综合分配、杀伤效果评估等, 其它控制节点根据战场地形、通信系统能力等按照部署对部分炮兵武器装备进行控制。作战时则可根据需要灵活变化指挥节点。

实现指控系统动态重组能力需要解决的技术主要包括: 无线自组织网络技术、统一作战态势形成及态势信息共享技术、与物理地址无关的指挥接入技术、权限认证技术、指控软件及态势数据库动态下载和保障技术。

## 2 指控系统动态重组的主要算法

动态重组主要指通信链路以及系统组成结构的动态重组。由于通信中继节点的局限性, 在系统初始构成和重组时, 需要考虑应用层的路由规划, 以合理地利用各节点的能力。此外, 重组必须是在已知当前拓扑结构的前提下进行, 因此指挥动态重组首先要研究路由规划算法、拓扑关系发现算法, 在此基础上解决系统的动态重组问题。

### 2.1 应用层路由规划算法

炮兵武器系统中各成员节点实现中继通信的能力总是有限的, 不可能无限制地提供中继通信服务。当成员节点提供的中继通信服务达到了规定数量,

就不会再对外增加中继通信服务功能, 否则会影响当前成员节点对外通信中继的能力。应用层路由规划算法, 在应用层上实现通信中继规划, 实现系统各成员节点合理利用信道, 达到信道资源优化分配。

应用层路由规划首先必须量化表达成员节点的中继能力 (repeaters power, RP), 成员节点的中继能力与它能够提供的通信带宽、中继服务类型以及成员节点本身与指控系统之间的交互关系有关, 中继能力  $RP_i$  可表示为:

$$RP_i = \frac{x_i}{2400} - 1 - 3n - 2m - l - LRP, (i=1, 2, \dots, p)$$

其中,  $RP_i$  为顶点  $v_i$  的权值;  $x_i$  为顶点  $v_i$  的通信带宽, 单位 Bps;  $n$  为顶点  $v_i$  通信中继集中指挥方式下报文的服务数量;  $m$  为顶点  $v_i$  通信中继协同指挥方式下报文的服务数量;  $l$  为顶点  $v_i$  通信中继分散指挥方式下报文的服务数量;  $LRP$  为顶点  $v_i$  本身所执行的指挥方式需求的 RP, 当执行集中指挥方式时  $LRP=3$ , 当执行协同指挥方式时  $LRP=2$ , 当执行分散指挥方式时  $LRP=1$ 。

应用层路由规划问题可以数学描述为: 已知一个连通无向图  $G(V, E)$ , 令  $v_1, v_2, \dots, v_p$  和  $e_1, e_2, \dots, e_q$  分别记为  $G$  的顶点和边, 每个顶点对应一个权值, 如何确定一条从顶点  $v_i$  到顶点  $v_j$  的路径, 使路径上的各个顶点权值与  $FRP$  的差大于 0 以及路径顶点权值之和最大? 其中,  $FRP$  根据  $v_i$  与  $v_j$  之间的交互关系确定, 集中指挥方式  $FRP=4$ , 协同指挥方式  $FRP=2$ , 分散指挥方式  $FRP=1$ 。上述问题是多阶段决策问题, 可以利用动态规划算法解决:

#### 1) 初始化

定义一维数组  $ArryCntV$ , 用它存放与顶点  $v$  直接相连的其他顶点; 定义一维数组  $ArryBufV$ , 用来存放可行顶点; 定义一维数组  $ArryGanV$ , 用来存放算法的计算结果。

#### 2) 主要步骤

(1) 确定顶点  $v_i$  到  $v_j$  的路径, 首先弄清  $v_i$  到  $v_j$  的交链关系确定  $FRP$  的值, 并把顶点  $v_i$  具有的权值设为无穷大;

(2) 根据动态规划思想, 要确定从  $v_i$  到  $v_j$  的一条路径, 现从  $v_j$  开始逆向而上, 确定出与  $v_j$  直接相

连的顶点放入数组  $ArryCntV$ ;

(3) 将数组  $ArryCntV$  中的各个顶点权值减去  $FRP$ , 将结果大于 0 且在  $ArryGV$  中没有的顶点放入数组  $ArryBV$  中, 如果数组  $ArryBufV$  中的元素为空, 则转 Step5;

(4) 从数组  $ArryBufV$  选取顶点权值最大的一个顶点放入数组  $ArryGanV$  中, 并判断是否是顶点  $v_i$ , 如果是, 算法转 Step6, 如果不是, 算法转 Step2;

(5) 算法终止, 结论是不存在这样的一个路径, 问题无解;

(6) 算法终止, 数组  $ArryGanV$  中的顶点就是问题的解。

## 2.2 拓扑关系发现算法

应用层拓扑关系发现算法是指控系统动态网络管理的基础, 在应用层上维护网络成员的存在性信息与互连关系。要生成作战系统的拓扑关系图, 必须收集构造拓扑关系图的各种必要信息。

应用层网络拓扑关系发现算法需要达到以下的总体目标: 高效率, 使拓扑发现算法带来的网络带宽额外消耗达到最小; 快速, 在最短时间内完成任务; 完备, 能够发现整个防空系统各个成员, 不存在遗漏情况; 准确, 发现的网络节点及其连接关系准确无误; 健壮, 力求使算法能适用于各种情况下, 不因某一协议或服务失效而使算法不能正常工作。

根据应用层网络拓扑关系发现算法的总体要求, 可得出炮兵指控系统拓扑关系发现算法为:

1) 将作战系统的拓扑关系图用图论中的无向图  $(V, E)$  来表示。各成员节点是一个子网系统, 抽象成无向图的顶点  $v_i (v_i \in V)$ , 并用网络地址表示  $v_i$ , 顶点之间的连接关系为无向的边  $e_i (e_i \in E)$ ;

2) 指控系统监控工作站上的监控程序首先从自身子网中的通信工作站出发, 从中提取路由信息表, 找到与之相连的下一成员节点, 并记录下与这个通信工作站直接相连的成员节点网络地址, 即确定了无向图的一个顶点  $v_i$ , 最后, 应用广度遍历搜索方法找到所有成员节点信工作站以及它们之间的连接关系, 也就是无向图的边  $e_i$ ;

3) 根据第 2 步的结论, 运用图形技术描述出作战系统拓扑关系图;

4) 指控系统监控工作站利用指挥系统拓扑关

系图上各成员节点网络地址, 发出查询报, 将收到的回复报文信息添加到指挥系统拓扑关系图中, 以完备指控系统拓扑关系图维护的节点信息;

5) 指控系统生成作战系统拓扑关系图后, 将拓扑关系图以及拓扑关系图维护的信息广播到系统内所有其它成员节点中, 实现成员节点对指挥系统实时跟踪, 满足对炮兵装备体系的拓扑关系图的静态维护。

## 2.3 指控系统动态重组算法

在网络平台下, 指控系统成员节点建立的通信链路可以抽象成一个连通的无向  $G(V, E)$ , 如果某个成员节点与主中心指控节点无法建立通信链路而可以和某个备份中心指控节点建立通信链路, 备份指控系统监控工作站就利用自身维护的静态指控系统拓扑关系图实施指控系统动态重组算法, 使无法与指控系统建立通信链路而与备份指控系统建立通信链路的成员节点重新组成一个新的作战系统。

### 1) 初始化

定义一般指控系统探询队列  $C2queue$  数组, 记录那些无法与主指控系统建立通信链路, 但能够与当前备份指控系统建立通信链路的节点的系统号;

定义通信中继站探询队列  $RelayStationqueue$  数组, 记录能够与当前备份指挥系统建立通信链路的通信中继站成员节点的系统号;

定义备份指挥系统探询队列  $BC2queue$  数组, 记录能够与当前备份指控系统建立通信链路, 但系统优先级没有当前备份指控系统高的那些备份指挥系统成员节点。

### 2) 算法步骤

(1) 备份指控系统判定  $C2queue$  中的数目, 当数目大于 1 时, 备份指控系统监控工作站启动指控系统动态重组算法;

(2) 备份指控系统监控工作站利用  $RelayStationqueue$ 、 $BC2queue$  发出查询报文, 收到回复报文后更新自身维护的静态拓扑图;

(3) 备份指控系统实施应用层网络结构拓扑关系发现算法, 动态更新指控系统拓扑关系图;

(4) 备份指控系统向上级指控中心发出请求: 是否重组成新的指控系统。当得到回复, 同意重组成新的指控系统, 备份指控系统上报当前指控系统拓扑关系图以及拓扑关系图维护的信息给上级指挥节点, 并建立与上级指挥节点的通信链路;

(5) 备份指控系统利用共享的信息、情报数据库与成员节点的数据库进行对比、融合, 形成本地指控系统共享态势数据库;

(6) 备份指控系统完成本地态势数据信息管理后, 与上级指挥控制中心进行对比、融合, 形成信息资源的统一管理;

(7) 备份指控系统实施管理、控制、决策, 重组指控系统开始正常工作。

### 3 结束语

动态重组能力保证了作战指挥信息的畅通, 提高了全武器系统的战场生存能力, 是炮兵指控系统

适应未来网络中心作战条件的根本要求, 必须要加强对炮兵指控系统的动态重组技术的研究, 以促进炮兵指挥控制理论和实践探索的发展。

### 参考文献:

[1] 李署东, 等. 指挥自动化系统建模与仿真技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.

[2] 殷兴良. 网络化防空反导作战系统设计与演示[G]. 网络化作战技术文集(特辑). 现代防御技术编辑部, 2004.

[3] David S A etc. Understanding Information Age Warfare[M]. Washington DC: CCRP Publication Series, 2001.

[4] 郑相全, 等. 无线移动自组织技术实用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

[5] 陈春. 炮兵指挥自动化[M]. 北京: 解放军出版社, 2000.

\*\*\*\*\*

(上接第 45 页)

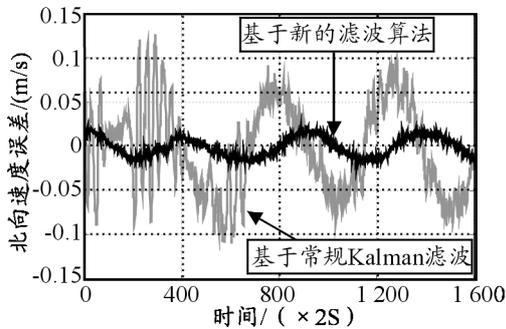


图6 北向速度误差曲线

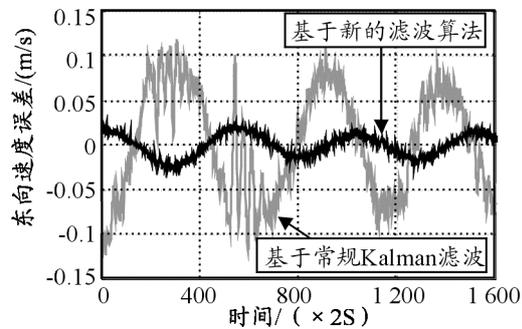


图7 东向速度误差曲线

从试验结果可以看出, 该方法对各导航参数精度改善很大。为了进一步比较组合导航各导航参数

误差的改善程度, 计算各导航参数误差的均方根如表 1。

表 1 试验结果误差均方根比较

|        | 俯仰角<br>(°) | 横滚角<br>(°) | 经度误差<br>(m) | 纬度误差<br>(m) | 北向速度误差<br>(m/s) | 东向速度误差<br>(m/s) |
|--------|------------|------------|-------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 新的滤波算法 | 0.191 9    | 0.149 5    | 2.557 5     | 2.368 0     | 0.012 5         | 0.011 1         |
| 常规滤波算法 | 0.335 4    | 0.292 7    | 5.092       | 3.555 7     | 0.058 8         | 0.063 5         |

### 5 结论

在不增加计算量的数量级的情况下, 在 GPS/SINS 组合导航系统中引入了基于量测多尺度预处理的 Kalman 滤波算法。实验结果表明, 该算法能显著地提高 Kalman 滤波的精度, 达到了预处理的目的。同时, 以上述实验为基础, 加大小波分解的层数, 然后利用重构得到的量测进行信息融合, 各导航参数的误差将会进一步降低, 但会增加计算量, 因此, 在实际应用中, 应该综合考虑二者之间的关系。

### 参考文献:

[1] 孙德波, 杨功流, 张玉堂. SINS/GPS 组合导航序贯滤波算法[J]. 中国惯性技术学报, 2005, 13(1): 59-64.

[2] Sameh Nassar, Naser EI-Sheimy. Wavelet Analysis For Improving INS and INS/GPS Navigation Accuracy [J]. The Journal of Navigation, 2005, 58(1): 119-134.

[3] Naser EI-Sheimy, Sameh Nassar. Wavelet De-Noising for IMU Alignment [J]. IEEE A&E System, 2004, 40(10): 32-38.

[4] 刘建娟, 徐晓苏, 刘锡祥. 基于小波变换的自适应滤波技术在组合导航系统中的应用[J]. 中国惯性技术学报, 2005, 13(6): 34-28.

[5] 吴富海, 杨元喜. 基于小波阈值自适应滤波的 GPS/SINS 组合导航[J]. 测绘学报, 2007, 36(2): 124-128.

[6] 文成林, 施晨鸣, 潘泉, 等. 信号处理中量测多尺度预处理算法[J]. 河南大学学报, 2000, 30(2): 5-9.

[7] 孙延奎. 小波分析及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

[8] 袁信, 俞济祥, 陈哲. 导航系统[M]. 北京: 航空工业出版社, 1993.