

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.03.003

# 数据链网络信息融合的有中心无中心处理结构<sup>\*</sup>

赖作镁<sup>1,\*\*</sup>, 涂泽中<sup>2</sup>

(1.中国西南电子技术研究所,成都 610036;2.空军装备研究院 第八研究所,北京 100076)

**摘 要:**针对数据链网络的发展趋势及应用需求,揭示了有中心无中心融合处理的基本原理,并对其处理流程与关键技术进行了深入分析,并提供了解决思路及仿真分析。在此基础上,结合机载信息融合的功能及应用,分析对比了有中心无中心融合处理结构的优缺点,并提出了适合当前数据链网络现状的融合处理方式建议,对网络化多平台信息系统的信息融合架构设计、方案选择具有重要参考意义。

**关键词:**机载平台;数据链网络;信息融合;有中心处理;无中心处理;架构设计

**中图分类号:**TP391      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-893X(2013)03-0244-05

## Central Processing and Non-central Processing Architecture of Data Link Information Fusion

LAI Zuo-mei<sup>1</sup>, TU Ze-zhong<sup>2</sup>

(1. Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China;

2. The No.8 Research Institute, Air Force Equipment Research Academy, Beijing 100076, China)

**Abstract:** Aiming at development and application requirement of data link, the basic principle of central processing and non-central information processing, its process flow and some key technology are investigated, while primary solution and simulation are proposed at the same time. Combined with the scene of the airborne information fusion, the advantage and disadvantage of central processing and non-central processing architecture are analyzed and compared. Finally, some suggestion on current data link network is proposed, which refers to the design of information fusion architecture and the choice of technique on netted multi-ship information system.

**Key words:** airborne platform; data link network; information fusion; central processing; non-central processing; architecture design

### 1 引 言

近年来,军事通信领域的数据链技术正呈现出高速发展趋势,应用于机载平台通信数据链种类越来越多,通信传输速率越来越快,通信带宽越来越大。通信能力的提升使得数据链网络结构经历了由有中心节点网络到无中心节点网络的转变。随着数据链网络结构的转变,数据链所能支撑的应用及业务类型越来越丰富,指挥控制体系也发生了改变。

基于数据链网络的战场情报信息融合处理方式也在原来有中心处理方式的基础上出现了无中心处理方式。

美国在实施网络中心战过程中,如海军协同作战能力(CEC)、单一集成空情图(SIAP)等项目<sup>[1-2]</sup>,均提倡并贯彻完全分布式的无中心融合处理概念,经过多年的发展,仍然存在不少技术问题亟待解决。目前我国对数据链网络信息融合处理的无中心结构研究刚刚开始,开展的理论研究和实践较少,电子科技大学胡罡<sup>[3-4]</sup>结合预警机应用背景对情报无中心

<sup>\*</sup> 收稿日期:2012-08-02;修回日期:2013-02-27

<sup>\*\*</sup> 通讯作者:68278802@qq.com, medalas@gmail.com

Received date:2012-08-02; Revised date:2013-02-27

Corresponding author:68278802@qq.com, medalas@gmail.com

处理将面临的问题及解决措施进行了分析与探索。

本文旨在对基于数据链网络信息融合处理的有中心、无中心处理方式的<sup>[1]</sup>概念、处理流程、所涉及的关键技术进行分析研究并提出初步的解决思路,同时结合战斗机信息融合的具体应用需求,对机载数据链网络的有中心、无中心处理方式的性能作一比较,最后提出战斗机信息融合应用建议,具有重要的理论与实用价值。

## 2 有中心无中心处理方式的原理

### 2.1 有中心处理方式

有中心处理方式的基本原理是:由指控系统指定的融合中心为数据链网络中唯一的融合处理单元,融合中心收集并处理本地数据、远端数据链数据,经综合处理形成统一态势后,将统一态势下发给数据链网络中的其他成员,如图 1 所示。

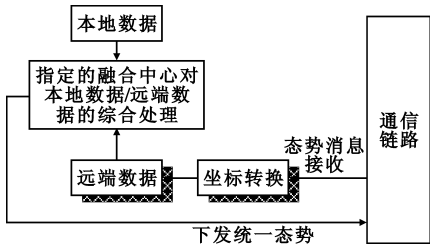


图 1 有中心处理方式原理图示  
Fig.1 Illustration of central processing

有中心处理方式的主要步骤如下:

- (1)指控系统指定融合处理中心;
- (2)融合中心通过数据链网络接收其他成员节点的目标信息;
- (3)融合中心将本机探测到的本地数据与数据链网络上收到的其他成员节点的远端数据进行综合处理,形成统一态势;
- (4)融合中心下发统一态势。

有中心处理方式的主要缺点是:当融合处理中心单元工作不正常或被敌方击毁,整个数据链网络的战场感知能力将丧失。此时,需要根据指控职责、航迹报告职责重新指定融合处理中心。

### 2.2 无中心处理方式

无中心处理方式的基本原理是:数据链网络中各个成员节点将各自探测到的信息在网络中广播,同时接收其他节点发布的目标探测信息;各个节点将本节点探测到的本地数据与从数据链网络上收到

的其他节点的远端数据进行综合处理,每个节点都会形成一个对整个网络范围内目标信息的综合处理结果,由于各自的态势必然存在差异,必须通过交互消息进行协商、报告仲裁,以解决态势冲突,直至各个节点形成统一的态势,如图 2 所示。

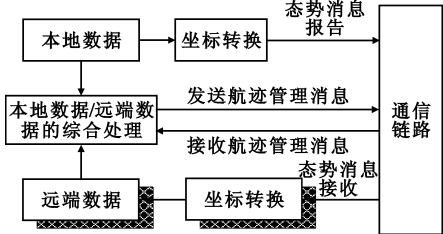


图 2 无中心处理方式原理图示  
Fig.2 Illustration of non-central processing

无中心处理的主要步骤如下:

- (1)网络中各成员节点将本机探测到的目标信息在数据链网络中发布;
- (2)网络中各成员节点将本机探测到的本地目标信息与数据链网络上收到的其他节点的远端目标信息进行综合处理,形成各自的综合态势;
- (3)网络中各节点之间互传消息;
- (4)网络中各节点在收到其他节点的消息后,对本机信息综合的结果和其他节点的信息综合结果进行态势冲突分析,直至统一态势。

无中心处理方式下,数据链网络中任何一个节点工作不正常或被敌方击毁,仍可以维持整个数据链网络的战场感知能力。

## 3 关键技术分析

在比较有中心、无中心处理结构时,需要重点考虑以下的 5 个方面,即通信带宽、信息重复利用、指控职责转移和航迹报告职责转移、态势冲突、系统融合精度。权衡利弊,以提出最优的融合处理结构。

考虑到文章篇幅,本文不对通信带宽的原理及其计算进行描述,第 4 节中的对比表格将直接给出有关通信带宽的计算结论。以下将重点对后 4 方面的内容进行详细分析,并提出解决措施。

### 3.1 信息重复利用的消除

由于数据链的功能越来越强大,基于数据链的上层功能应用越来越多,信息重复利用的现象越来越普遍,通信网络质量的不确定性加剧了问题的难度<sup>[5]</sup>。信息重复利用的原理示意图如图 3 所示。

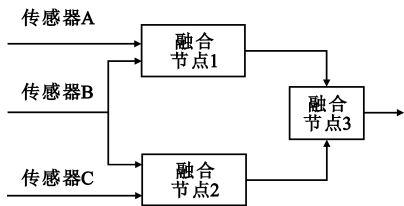


图 3 信息重复利用示意图

Fig.3 Illustration of information processing repeatedly

假设传感器 A 的输出信息表示为  $x_A$ , 传感器 B 的输出信息表示为  $x_B$ , 传感器 C 的输出信息表示为  $x_C$ , 融合中心 3 的系统输出信息表示为  $Y$ , 经过消除信息重复利用处理以后, 必须满足以下公式:

$$p(Y|x_A,x_B,x_C)=\frac{1}{\delta}\frac{p(Y|x_A,x_B,x_C)}{p(x_B|Y)}$$

式中,  $p(Y|x_A,x_B,x_C)$  为信息重复利用消除以前融合中心 3 输出的概率密度函数,  $p(Y|x_A,x_B,x_C)$  为信息重复利用消除以后融合中心 3 输出的概率密度函数,  $p(x_B|Y)$  为信息重复利用污染概率密度,  $\delta$  为信息重复利用消除因素。经过消除信息重复利用以后, 基本能获得最优融合估计。

直观上看, 信息重复利用的直接影响就是相当于传感器 B 的权重增加了, 不能获得可信的融合精度, 当传感器 B 的精度很差时带来的结果更加致命。另外, 传感器 B 的信息重复使用将导致误差的增长和累积, 误差的增长主要是由于重复利用信息的共同过程噪声、共同先验信息为后续信息重复利用节点使用多次产生的。

考虑极端的情况, 如果传感器 A 没有数据输出, 传感器 B 与融合中心 1 的融合结果 AB 相差较大的延迟到达融合节点 2(相当于同一批目标信息, 相隔一段时间送了两遍), 此时最终的融合输出将产生混乱。如果传感器 B 存在假目标, 将出现假目标重复传输与利用, 导致系统航迹中假目标的成倍增长。

### 3.2 基于航迹质量等级的职责转移

在有中心处理方式下, 当融合处理中心工作不正常或被击毁, 将存在指控职责、航迹报告职责转移问题, 以实现指控职责、航迹报告的平滑交接。为实现航迹报告的平滑交接, 主要根据航迹质量等级依次选择下一等级的成员平台作为新的融合处理中心。航迹质量的概念及处理规则详见文献[6]。

另外, 发布目标航迹时, 同样需要根据报告职责来确定是否满足报告条件, 报告职责的首要考虑因素也是航迹质量等级。

### 3.3 态势冲突及其消解

在无中心处理方式下, 首先需要形成各自的综合态势。由于各成员平台所融合信息源的系统误差、探测误差及其误差传递环节不尽相同, 以及不同通信环境导致的通信质量也存在差异, 所以导致各自综合态势必然存在冲突[7]。主要的态势冲突包括以下几类。

#### (1) 目标编号冲突

包括多名冲突和重名冲突。多名冲突指对同一目标编了多个系统航迹号, 重名冲突指对多个目标编了同一个系统航迹号。

#### (2) 位置冲突

由于探测误差、通信质量误差、跟踪融合处理算法等因素导致的目标位置相差超出一定范围视为位置冲突。

#### (3) 属性冲突

包括敌我属性冲突和目标类型冲突。敌我属性冲突指敌我识别器等手段的误差及串扰混扰、综合敌我识别算法等造成的目标敌我属性冲突; 目标类型冲突指电子战、敌我识别器等手段的测量误差、综合类型识别算法等原因所造成的目标类型冲突。

态势冲突消解处理过程是指各个节点通过消息交互、协商解决上述三大类冲突的处理过程, 主要通过航迹管理消息实现。以航迹管理消息中的航迹相关操作为例, 其主要实现机理是: 在某个成员节点发出航迹相关/解相关请求消息之后, 如果没有收到其他成员节点的应答, 则认为其他节点同意该节点执行此次相关, 则进行后续的航迹相关处理; 如果收到了其他节点的拒绝相关应答或解相关应答, 则进行拒绝相关操作。

有研究发现[7], 数据链网络的通信质量必须满足一定要求, 冲突消解才能正常进行并获得统一态势。

### 3.4 融合精度仿真分析

无中心信息融合处理由于容易出现信息重复利用现象, 将导致有偏的系统融合估计。有中心信息融合处理采用传统的融合处理机理, 从原理上说, 可以获得最优融合估计。假设数据链网络中有飞机平台成员 2 个, 飞机 1 和飞机 2 均搭载雷达, 飞机之间通过数据链相互传递雷达信息, 飞机 1 雷达距离方位俯仰精度分别为 107.5 m、0.54°、0.23°, 飞机 2 雷达距离方位俯仰精度分别为 412.3 m、0.25°、0.39°, 两飞机的导航位置精度为 15 m, 姿态精度为 0.1°。不考虑通信时延、丢包等因素, 无中心融合处理与有中心融合处理的融合精度仿真比较结果如图 4 所示。

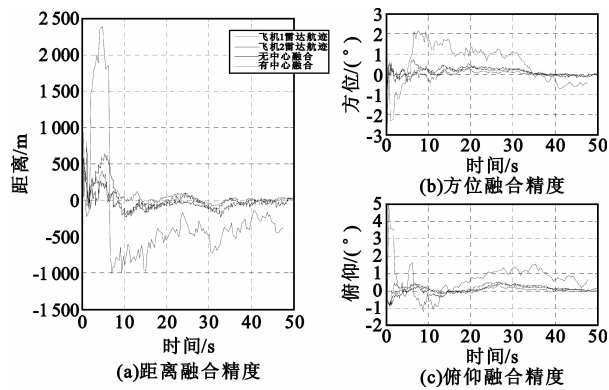


图 4 融合精度比较  
Fig.4 Comparison of fusion precision

从图 4 可以看出,不管是误差均值还是误差协方差,无中心处理的融合精度比有中心处理的融合精度稍差,无中心处理方式在距离维度上的融合精度还存在一定锯齿及不平滑性。

4 有中心无中心处理结构的性能比较及建议

为了对有中心处理结构、无中心处理结构的性

能优劣进行比较,针对多个机载平台通过数据链网络实现 3 种同类组网、一种异类组网的融合功能应用,并假定 4 种功能能够同时发生的极限情况。4 种融合功能分别描述如下:

- (1)雷达组网融合功能:通过数据链网络共享雷达点迹信息,输出精度更高、连续性更强的目标航迹;
- (2)光学传感器组网融合功能:通过数据链网络共享光学传感器的航迹信息,实现对敌目标的定位、跟踪;
- (3)电子战组网融合功能:通过数据链网络共享电子战的方位线、时差等信息,实现对敌目标的定位、跟踪;
- (4)编队数据共享融合功能:通过数据链网络共享雷达航迹、电子战航迹、光学传感器航迹、融合态势等信息,实现多个平台的信息共享融合。

假定基于数据链组网形成的四机编队战术网络,仅考虑目标数据相关的消息传输,经过计算及分析,可以获得表 1。

表 1 性能比较  
Table 1 Illustration of performance evaluation

| 处理方式 | 通信带宽<br>(/Mb/s) | 信息重复利用                                     | 职责转移      | 态势冲突与消解                                               | 系统融合<br>估计精度 |
|------|-----------------|--------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------|--------------|
| 无中心  | 8.125           | 信息重复传输利用现象非常严重,至少存在 5 类重复。                 | 不存在职责转移问题 | 融合处理的复杂度高,各平台都需要作融合解算。态势冲突消解非常困难,通信质量过差时可能导致无法形成统一态势。 | 有偏估计         |
| 有中心  | 2.550           | 仅存在两类重复:本机雷达点迹与本机融合航迹重复、数据链雷达点迹与数据链雷达航迹重复。 | 职责转移比较困难  | 融合处理简单、指定平台完成融合计算。不会出现态势冲突。                           | 理论上可以获得最优估计  |

从表 1 可以看出,无中心处理方式占用的带宽非常大、带来的信息重复利用现象较多,且带来的处理复杂度也增加,还极有可能带来无法统一态势。另外,从作战使用上来看,无中心融合处理方式抗毁性好,但目标分配容易产生错误,而有中心融合方式抗毁性差,但目标分配非常容易。从信息融合处理的难度来说,如果通信质量较差,基于无中心处理的态势冲突消解非常困难,很可能导致无法形成统一态势。

由于当前数据链网络信息融合功能处理的应用及业务较多,综合考虑以上特点以及当前机载环境下的实用性,建议采用有中心与无中心混合架构,其

中,整体架构上仍采用符合指挥控制规范的有中心融合处理方式,局部应用如电子战组网融合可以采用无中心融合处理方式,以提高多平台被动定位的准确性和鲁棒性。

5 结 论

本文针对目前数据链网络的发展趋势以及机载信息融合领域的应用需求,首次系统性地论述了有中心无中心融合处理的基本原理、处理流程、所涉及的关键技术等。本文的主要结论如下:

- (1)针对数据链网络信息融合应用,首次揭示分析了有中心无中心处理的基本原理;

(2)结合机载信息融合的功能与应用,分析对比了有中心无中心信息融合处理结构的优缺点,并给出了适合当前数据链网络现状的融合处理方式建议,对网络化多平台信息系统的信息融合架构设计、方案选择具有重要参考意义。

下一步的研究将对信息重复利用技术和态势冲突消解技术进行深入研究并进行仿真分析。

#### 参考文献:

- [1] 张强,郭克平.美军数据链的发展及应用[J].舰船电子工程,2010,30(2):8-21.  
ZHANG Qiang, GUO Ke-ping. Development and Application of American Data Link [J]. Ship Electronic Engineering, 2010, 30(2): 18-21. (in Chinese)
- [2] 白剑林,高洪星,梁雨,等.数据链对未来信息化作战的影响及建议[J].航空科学技术,2010,6(1):6-9.  
BAI Jian-lin, GAO Hong-xing, LIANG Yu, et al. The Influence of Data Link on Future Information Warfare [J]. Aeronautical Science and Technology, 2010, 6(1): 6-9. (in Chinese)
- [3] 胡罡.数据链情报无中心处理中的解多名冲突和航迹报告职责处理研究[D].成都:电子科技大学,2008.  
HU Gang. The Research of Solving Dual Designation and Track Reporting Responsibility on Data Link Non-central Handling Information Fusion [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2008. (in Chinese)
- [4] 胡罡,邵怀宗,罗辅仁.一种无线数据链无中心处理研究

[J].中国电子科学研究院学报,2008,6(3):300-302.

HU Gang, SHAO Huai-zong, LUO Fu-ren. No Centre Handling Research of a Wireless Data Link [J]. Journal of CAEIT, 2008, 6(3): 300-302. (in Chinese)

- [5] Makarenko A, Brooks A, Williams S, et al. A Decentralized Architecture for Active Sensor Networks [C]//Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation. New Orleans, LA, USA: IEEE, 2004: 1097-1102.
- [6] XIA Min, Xiao Li, YAN Jin-tun. A Calculation Method of Track Quality [C]//Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Electrical and Control Engineering. Wuhan: IEEE, 2010: 4580-4584.
- [7] Yanni P. Rosetta: A Platform for Correlation in the JDN and JCTN [C]//Proceedings of Spring 2000 Simulation Interoperability Workshop. San Diego, CA: Philip Yanni ANZUS Inc., 2000.

#### 作者简介:

赖作镁(1978—),男,江西安远人,2007年于中国科学院获博士学位,现为高级工程师,主要研究方向为信息融合;

LAI Zuo-mei was born in Anyuan, Jiangxi Province, in 1978. He received the Ph.D. degree in 2007. He is now a senior engineer. His research direction is information fusion.

Email: 68278802@qq.com, medalas@gmail.com

涂泽中(1965—),男,湖北云梦人,高级工程师,主要研究方向为航空电子总体论证。

TU Ze-zhong was born in Yunmeng, Hubei Province, in 1964. He is now a senior engineer. His research direction is avionics.