

一种多传感器数据融合仿真平台的构建与设计

徐 飞, 钟联炯

(西安工业学院 计算机科学与工程学院, 陕西 西安 710032)

摘 要: 数据融合是现代军事 C³I 系统的重要组成部分。文中介绍了通用的可视化多传感器数据融合仿真平台的构建, 针对位置级数据融合开发所需的模块, 合理地进行了软件设计, 使其具有实时性和开放性的结构。并给出了该仿真平台的一个运行实例, 使其可靠性、实用性等得到了验证。

关键词: 多传感器; 数据融合; 软件设计; 仿真平台

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2006)07-0212-03

Design of a Multi-sensor Data Fusion Simulation Platform

XU Fei, ZHONG Lian-jiong

(School of Computer Science & Engineering, Xi'an Institute of Technology, Xi'an 710032, China)

Abstract: Data fusion is the important composition part of modern C³I system. This paper introduces the construction of multi-sensor data fusion simulation platform. According to the necessary modules needed by location level, the software is rationally designed, and makes the platform own the characteristics of real-time, common use and so on. At last, a software example running on the simulation platform has validates the reliability and practicability of the simulation platform.

Key words: multi-sensor; data fusion; software design; simulation platform

0 前 言

多传感器数据融合(Multi-sensor Data Fusion)是指对来自多个传感器的数据进行多级别、多方面、多层次的处理, 从而产生任何单一传感器所无法获得的有意义的信息。数据融合主要包括多传感器的检测判决融合、多传感器综合跟踪与状态估计融合、多传感器目标识别的属性融合, 以及传感器管理和数据库等^[1]。应用于雷达数据处理领域, 就是指使用位于不同平台的传感器或者使用同一平台的多个传感器, 利用观测信息的冗余性和互补性, 实现对飞机或导弹的跟踪。把不同传感器的局部航迹数据进行综合考虑, 通过航迹与航迹的关联和融合处理, 形成系统级别的航迹数据^[2]。

多传感器数据融合是一个多级、多层面的数据处理过程, 在数据的配准、关联、相关、估计和融合过程中有很多相对成熟的理论和算法。因此, 利用数学建模技术和计算机仿真技术构建一个通用的多传感器数据融合仿真平台就具有其特殊的实用价值。在平台上结合工程背景开展一系列数据融合仿真试验, 评估各种模型、算法的性能及在实际系统中的应用情况, 对试验数据进行定量分析, 验

证融合结构中各个层次数据处理的合理性和有效性, 为理论和算法的研究与改进打下基础。

1 仿真平台的设计

本仿真平台采用了集中式的融合结构, 有跟踪精度高、数据传输量大、雷达校准要求高等特点。即雷达信息的二次和三次处理同在一个处理机内进行, 对各个雷达站的目标点迹进行综合处理, 输出各个目标的多雷达航迹。

1.1 功能模块

仿真平台主要由以下功能模块组成:

1) 标准航迹生成模块: 用于仿真目标运动的标准航迹, 为生成传感器仿真数据提供依据, 并且也是参与仿真评估的重要因素之一, 可根据不同的仿真实验环境产生多批次、多航向、多种曲线、多种转折点的机动目标飞行标准航迹数据。

2) 多部雷达量测数据生成模块: 在标准航迹的基础上, 进行坐标变换, 再根据不同传感器的性能参数, 加入随机噪声序列, 形成多部雷达量测数据。

3) 单部雷达数据处理模块: 对单个传感器探测域中扫描到的点迹进行观测/点迹与观测/点迹的关联判断从而建立运动目标航迹, 计算并存储运动参数; 在此基础上进行观测/点迹与航迹关联判断, 预测运动目标的未来状态。

4) 多部雷达数据融合处理模块: 对多部雷达数据进行时空统一, 对来自不同传感器的局部航迹数据进行关联与

收稿日期: 2005-10-08

基金项目: “十五”预研项目(40405010101C)

作者简介: 徐 飞(1980-), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 研究方向为多传感器数据融合及应用; 钟联炯, 教授, 博导, 研究方向为人工智能与分布式系统。

融合处理,形成系统级别的目标运动航迹。

5)系统性能评估模块:将平滑和滤波后的飞行目标航迹与标准航迹数据库中的航迹进行比较,根据仿真评估算法对单目标跟踪中滤波器的性能和精度、数据关联和融合算法的性能进行定性和定量的分析和评估。

6)主控模块及数据库管理模块:控制系统各个模块的协调统一工作,并对相关的资源和动态对象进行实时管理。

7)融合效果显示模块:模拟雷达指示器实时显示单部和多部雷达的数据处理流程。

其各个功能框图如图1所示。

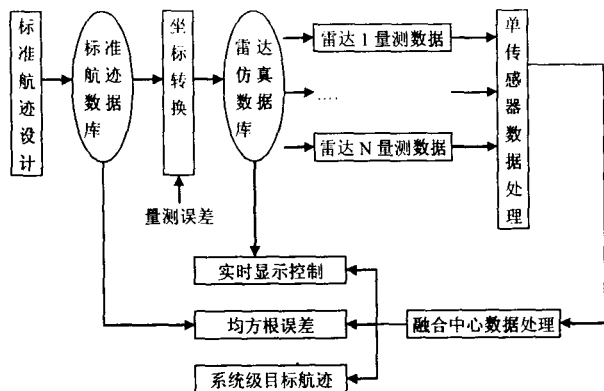


图1 仿真平台功能框图

1.2 仿真流程

首先由标准航迹设计模块依据不同的仿真要求生成多批次机动目标的理论航迹点迹数据,放置于标准航迹数据库中;再把直角坐标系下的航迹数据变换到战心地平极坐标系中,并加上随机噪声,形成一次仿真的空情数据,放入空情数据库中;然后,不同质的雷达根据其相对于融合中心的位置和自身的功能参数(扫描周期、扫描半径、跟踪精度与速度等)对空情数据进行相应的时空转换,形成了各自雷达的量测数据^[3]。

下一步是单部雷达在探测到目标并录取目标的位置数据后,对量测到的目标位置数据(观测/点迹)进行处理,自动形成航迹,并对目标在下一时刻的位置进行预测。处理模块要完成航迹的初始化、航迹生存管理以及局部航迹号的分配等工作,而且要根据雷达二次信息处理中的评价指标对目标外推与跟踪的误差、目标连续跟踪的时间、同时跟踪的航迹数和假航迹数、系统跟踪的分辨能力进行定量的分析并将给出的评价结果以多视图的方式呈现。

雷达信息三次处理,即多部传感器数据融合过程是将来自不同雷达的数据进行时空统一,将单雷达形成的局部航迹数据进行相关判断,建立系统航迹,对同一目标的观测/点迹进行坐标平均,以获得更精确的坐标。将实时处理过程、航迹数据、融合结果以交互视图的方式提供给使用者。

2 系统的软件设计

本仿真平台采用 Visual C++ 6.0 来进行主框架和核心算法开发,数据库管理系统采用 Microsoft Access2000。此外,仿真程序包含了矩阵运算软件包,该软件包由标准 C++ 语言设计实现,有较强的独立性,可以实现矩阵的自定义、加、减、乘、除、转置、求逆、扩维等功能,完全满足仿真平台的科学计算的需求。

本仿真平台采用开放式设计思路。首先建立基本融合算法仿真框架,融合算法实现模块采用 C++ 语言编写,封装了回波点迹数据预处理算法、机动目标的检测与处理算法、适合不同雷达的自适应滤波和预测算法、单航迹多点迹关联算法、多点迹多航迹关联算法、航迹分支处理算法。各算法在结构上是相互独立的,通过共享数据库交换信息^[4]。

本仿真系统由5大子系统组成:标准航迹生成子系统;数据融合处理子系统;多信息一体化显示子系统;数据融合评价子系统;数据管理子系统。

1)标准航迹生成子系统。为使标准航路得到最大的设计自由度,仿真平台提供友好的交互对话框,如图2所示。通过动态数组保存航迹设计参数,将参数进行实时计算,并绘制出预览图形。此外,平台设计了多种空情想定,即预制多条航迹参数的仿真方案。使用者可根据需要自行调用某种想定进行仿真试验。

初始位置		速度		加速度	
x0	y0	v	a	v	a
20000	20000	350	0	350	0

航路分段数	终止点位置	速度	加速度
	x1 y1	v	a
第一段	x1 15000 y1 18000	350	0
第二段	x1 10000 y1 10000	350	0
第三段	x1 3000 y1 6000	350	0
第四段	x1 -12000 y1 -1000	350	0
第五段	x1 -16000 y1 -5000	350	0

图2 航迹参数设置

2)数据融合处理子系统。多雷达组网的数据融合处理关键技术是多传感器的地理位置和时间基准的归一化处理以及系统的设计、管理、调度和优化^[5]。在融合前的数据准备过程中,以融合中心为时空坐标系基准,进行时空统一。

通常,融合信息处理采用笛卡儿坐标系,即直角坐标系,对两坐标雷达采用 x, y 坐标,对三坐标雷达采用 x, y, z 坐标。但雷达所给出的坐标数据是以极坐标的形式给出的,即给出的是目标的斜距 R 、方位角 θ 和高低角 φ 。在进行数据处理时,需要将其变成直角坐标形式。设空间任一点 P 的直角坐标系为 (x, y, z) , 对应的极坐标系为 (R, θ, φ) , 两坐标系的参数转换公式为^[1]:

$$\begin{cases} R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \theta = \arctan \frac{x}{y} \\ \varphi = \arctan \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \end{cases} \quad \begin{cases} x = R \cos \theta \cos \varphi \\ y = R \cos \theta \sin \varphi \\ z = R \sin \theta \end{cases}$$

单部雷达的每次扫描过程的开机时间是不一样的,需要进行时间同步去除局部数据的时间差^[6]。对于同扫描周期的搜索雷达,将单部雷达的周期内数据外推至融合中心时间轴同周期的最末时刻标签处。有

$$Z_k(t_i) = Z_k(t_j) + V_i \times (t_i - t_j)$$

式中, V_i 为目标 i 运动速度,可从 Kalman 滤波器对目标平滑跟踪过程中获得;

Z_k 为在时刻 t_j 来自雷达 k 的观测数据;

$V_i \times (t_i - t_j)$ 为修正项。

若雷达扫描周期不同,则以扫描周期最大的雷达时刻线作为融合中心基准时间轴。同步过程中,对于扫描周期小的雷达数据,需选取基准时间轴的同步周期内的任一数据进行外推计算。

由于仿真平台采用的是集中式系统结构,运算量大,实时处理负担较重,故融合结构采用的是一种无存储运算,关联和航迹估计误差并不由一个时刻传到下一时刻^[2],如图 3 所示。

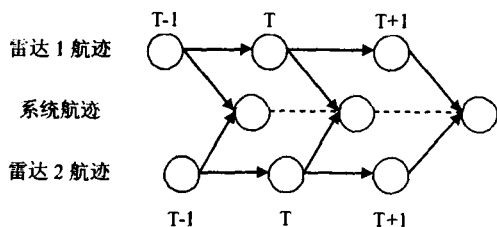


图 3 航迹融合结构

3) 多信息一体化显示子系统。对全系统的工作过程进行多视图显示监控、反馈和人工干预控制,为操控手和融合中心信息处理人员提供了实时资料,成为仿真系统主要的评估手段。对于单部雷达的视图显示,可提供雷达相对位置、多批次目标的量测点迹、航迹号、目标基准航迹、跟踪平滑后航迹、实时扫描信息和雷达工作状态的显示,如图 4 所示。

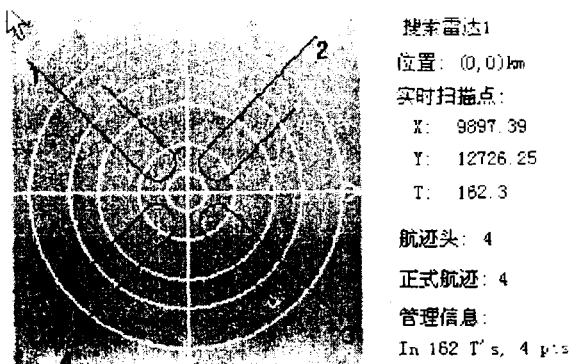


图 4 单雷达数据实时处理

4) 数据融合评价子系统。通过对数据融合结果和目

标的基准航迹数据进行比较和计算,就可以确定数据融合仿真系统对目标航迹融合的时间和概率指标^[3]。仿真系统主要考虑如下准则:即对目标航迹位置均方根误差要小。

假定某个目标标准航迹为 $\{X_{t_i}, Y_{t_i}, Z_{t_i}\}$, 其中 $X_{t_i}, Y_{t_i}, Z_{t_i}$ 为目标在 t_i 时刻的位置坐标;对应于该目标的标准航迹,经过滤波后可得到目标在同样时刻的位置坐标,表示为 $\{X'_{t_i}, Y'_{t_i}, Z'_{t_i}\}$,于是可得到目标位置的均方根误差

$$E_X = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X'_{t_i} - X_{t_i})^2}$$

$$E_Y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y'_{t_i} - Y_{t_i})^2}$$

$$E_Z = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z'_{t_i} - Z_{t_i})^2}$$

5) 数据管理系统。仿真平台产生的数据对象包括试验结果数据(包括目标位置量测值、目标位置估计值、目标速度估计值、位置估计均方根误差、融合后的位置估计值等),通过数据库中数据表创建和更新来管理;仿真中的临时数据(包括自由点迹、航迹头、试验航迹、正式航迹和系统航迹等动态对象),通过 MFC(Microsoft Foundation Class)中的基于模版的集合类指针这些动态对象进行生存和撤销管理。此外通过自定义结构体管理航迹号分配、航迹起始、航迹维持和航迹撤销的规则表。

3 实例分析

设本次仿真航迹条数为 4,其航迹参数是:

第一条航迹,初始位置(18000,20000),速度为 250m/s,在(5000,5000)处机动飞行沿半径为 3000m 的圆弧轨迹飞行 180°,然后直线飞行返回;

第二条航迹,初始位置(18000, -20000),速度为 250m/s,在(5000, -5000)处机动飞行沿半径为 3000m 的圆弧轨迹飞行 180°,然后直线飞行返回;

第三条航迹,初始位置(-22000, -20000),速度为 300m/s,在(-5000, -5000)处机动飞行沿半径为 3000m 的圆弧轨迹飞行 180°,然后直线飞行返回;

第四条航迹,初始位置(-22000, 20000),速度为 300m/s,在(-5000,5000)处机动飞行沿半径为 3000m 的圆弧轨迹飞行 180°,然后直线飞行返回;

两部搜索雷达扫描半径为 50km,扫描周期为 2s。其中雷达 1 相对于融合中心的位置(0,0)km;雷达 2 相对于融合中心的位置(10,10)km。

融合后的系统航迹如图 5 所示。

4 结束语

从仿真效果来看,本平台可以与使用者进行实时交互显示与控制,依据不同的试验要求调用不同的融合处理算法模块,并在一次仿真后给出融合效果评价数据和结论,

(下转第 217 页)

信息,SNMP 监听器收到信息后,按照相反的过程封装成 SOAP,上层协议后发向管理站。

1.2 设计方法与实现

在 WSNM 的实现中,采用了以下的设计策略:

- (1)层次化的设计方式,考虑软件的耦合度。
- (2)运用设计模式中的容器模式、抽象工厂模式、迭代器模式、属性模式、事件模式等等。
- (3)具体实现中,由于类的多继承带来的效率问题以及模块耦合度,尽量少用多继承,而较多地使用了接口。

WSNM 可部署在 .Net 和 J2EE 两大 Web 服务平台上,其中 WSNMG 为了高效跨平台通信,上层应用采用 C++ 实现,操作系统底层封装用 C 和汇编实现,其实现结构如图 3 所示(上层实现依赖于下层的实现)。

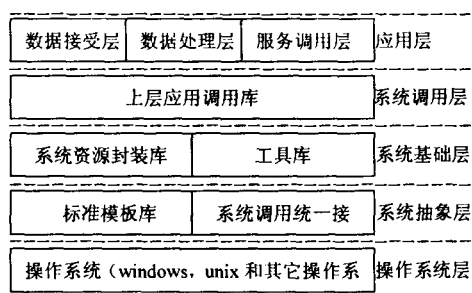


图 3 WSNMG 实现模型

①操作系统层:Windows,Unix 以及其它平台的操作

系统
②系统抽象层:封装操作系统的 API 调用,为系统基础层提供统一的独立于操作系统调用接口,提供系统资源的调用 API。

③系统基础层:利用标准模板库和系统调用统一接口,提供如进程通信原语、基本文件访问等接口。

④系统调用层:提供基本的数据封装接口,如 UDP, SOAP, XML 等数据格式接口,提供相应的算法接口。

⑤应用层:利用系统调用层,实现各模块。

(上接第 214 页)

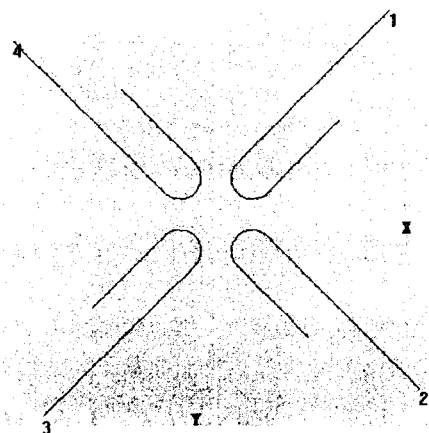


图 5 融合后系统航迹

具有较好的通用性、可扩充性、开放性和实时性等特点,为

为方便 WSNM 的实现,将 WSNMG 驻留在 Web 服务器上,Web 浏览器为管理站,采用 SNMPv2,管理站发送 Get, Set, Trap 命令管理 MIBII 中的 ifTable 和 RMONII 中的告警组,通过分析返回的结果,WSNM 实现了管理网络的功能。

2 结束语

Web 服务同网络管理相结合促进了网络管理的发展,方便了用户管理复杂的网络,然而由于 Web 服务通过载有 SOAP 的上层协议(如 HTTP, SMTP 等等)传输,造成了管理信息传输效率不高,同时也带来如攻击者可以跨越防火墙非法访问系统等安全问题。文中引入了 SOAP 与 SNMP 的转换接口,解决了 SOAP 与 SNMP 的通信问题,提出了 Web 服务网络管理的模型,并从软件工程、设计模式的角度跨平台实现了该系统。高效的传输一部分依赖于管理信息的表示,如何压缩管理信息,提高传输效率和安全问题是下一步工作的重点。

参考文献:

- [1] Thrum B. Web Services For Network Management - A Universal Architecture and Its Application to MPLS Network[J]. Local Computer Networks, 2002, 28(6): 463 - 472.
- [2] St Arnaud B, Bjerring A. Web services architecture for user control and management of optical Internet networks[J]. Communications Magazine, 2004, 92(9): 1490 - 1500.
- [3] 徐 峰, 宋如顺, 赵青松. 基于 web service 的混合型网络管理研究与实现[J]. 计算机应用研究, 2004(7): 125 - 127.
- [4] Boutaba R, Golab W, Iraqi Y. Lightpaths on demand: a Web - services - based management system[J]. Communications Magazine, 2004, 42(7): 101 - 107.
- [5] 龚新浩, 熊齐邦. 基于 Web Service 的网络管理[J]. 计算机应用, 2003, 23: 78 - 81.

评价武器系统的战术性能提供了可靠的试验数据依据。

参考文献:

- [1] 何 友, 王国宏. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.
- [2] 杨万海. 多传感器数据融合及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- [3] 王建斌, 陈瑞源. 防空 C³I 多传感器数据融合仿真系统设计[J]. 系统工程与电子技术, 2001(5): 65 - 69.
- [4] 丁爱龙, 钟联炯, 辛大欣. 多目标跟踪仿真系统的设计与实现[J]. 电脑开发与应用, 2005(2): 79 - 80.
- [5] 朱大春. 新型雷达数据处理系统的设计与实现[J]. 雷达科学与技术, 2004(3): 173 - 177.
- [6] 金岩斌, 徐 教, 万仕保. 多雷达数据处理系统中网格同步研究综述[J]. 计算机测量与控制, 2004, 12(2): 101 - 103.