

文章编号 :1001-2486(2001)03-0103-04

数据融合技术在 CGF 建模中的应用*

刘秀罗,黄柯棣

(国防科技大学机电工程与自动化学院,湖南长沙 410073)

摘要 提出了将数据融合技术应用到计算机生成兵力(CGF)建模中的思路和方法。在分析数据融合技术的基础上,深入讨论了卡尔曼滤波和最小二乘相结合的滤波方法以及一种改进的离散 Hopfield 神经网络,并结合一实际系统,建立了模型,给出了仿真结果。结果表明,数据融合技术和 CGF 建模相结合具有一定的应用前景和研究价值。

关键词 :CGF;数据融合;卡尔曼滤波;Hopfield 神经网络

中图分类号 :TP391.9 **文献标识码** :A

Application of Data Fusion Technology in CGF Modeling

LIU Xiu-luo, HUANG Ke-di

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract A method of applying data fusion technology to computer generated forces modeling is presented. It first analyzes data fusion technology, then discusses in detail the filtering method of combining Kalman filtering and least square, and an improved Hopfield neural network as well. With applying these models to a practical system, the simulation result is given. It holds a great promise of combining data fusion technology with CGF modeling.

Key words :computer generated forces; data fusion; kalman filtering; Hopfield neural network

近年来,分布式交互仿真技术在许多领域都得到了广泛的应用,正日益受到人们的重视,与此同时,许多新的技术也随之提出,计算机生成兵力(CGF)建模即是其中之一,这一问题涉及到的技术较多,引起国内外许多研究人员的重视,美国国家研究委员会(NRC)还专门成立了专家小组,研究这一技术的发展情况^[1]。作为计算机生成的兵力,它和人的行为模型紧密联系,主要包括以下三个部分:外界信息的获取、信息处理和行为的执行,而数据融合技术是对来自不同数据源的信息进行综合处理,以得到比单一数据源更为准确、可靠的信息^[2]。目前,有关数据融合的理论、方法^[3]以及数据融合在自动目标识别中的应用^[4]等方面已经做了许多深入的研究工作,但如何将这一技术应用到 CGF 建模中去,尚未见到这方面的研究工作。本文在将数据融合技术和 CGF 建模技术的结合方面试图做一些有益的探索,以便推动 CGF 建模技术的发展。

1 数据融合方法

在数据融合系统中,信息的划分从层次上来看,可以分为三类:数据信息、特征信息和决策信息。针对信息划分的不同层次,数据融合也相应地分为三类:即数据层融合、特征层融合和决策层融合^[4]。数据层融合的特点是能保持尽可能多的现场数据,提供其它融合层次所不能提供的详细信息。特征层融合是在对原始信息的特征提取的基础上,对这些特征进行综合分析和处理。决策层融合是三级融合的最终结果,它充分利用特征层融合所获取的各类特征信息,采用适当的融合技术来实现。常见的数据融合技术主要有以下几种。

目标状态的数据融合方法,主要是指多传感器下动态测量数据的关联、状态估计和跟踪算法^[5];D-S 证据理论在数据融合中的应用,这一方法是对 Bayes 方法的推广^[4];基于信息论的数据融合方法,其基本思想在于利用香农的信息熵理论来处理数据融合技术中的不确定信息^[4];人工神经网络在数据融合

* 收稿日期:2000-10-08
基金项目:国家部委基金项目(99J16.5.1.KG0139)
作者简介:刘秀罗(1974-)男,博士生。

中的应用,神经网络作为信息处理的计算模型,它体现了生物神经系统的处理机制,可以有效地实现对输入信息的整合,利用神经网络进行数据融合的的算法基础是神经网络的并行性和学习性,这里我们将要讨论的是 Hopfield 神经网络在作战任务分配中的应用。

2 数据融合的估计理论在 CGF 建模中的应用

这里,我们结合一具体的仿真系统,重点探讨数据融合的估计理论和神经网络技术在 CGF 建模中的应用。

2.1 系统背景

该系统是一空地对抗仿真系统,敌方兵力是由飞机编队组成,我方兵力是一防空群,其中包含群指挥所、警戒雷达站和三个高炮营,每个营又下属一部搜索雷达。在作战过程中,群指挥所需要掌握各批敌机的准确位置,以便完成作战命令的下达和火力分配任务。

2.2 系统的设计介绍

针对上述系统设计需求,我们采用的技术是以 RTI(Run-Time Infrastructure)为底层支撑软件,用 HLA 技术建立的分布式交互仿真系统,该系统由六个成员组成,分别是群指挥所、警戒雷达站、三个高炮营及敌机编队。

2.3 卡尔曼滤波与最小二乘法在状态估计中的应用

2.3.1 系统的融合结构设计

在该系统中,除了警戒雷达站外,各营还有一部雷达,因此关于敌机状态的信源共有四个。我们这里采用的融合结构是各雷达首先在本地进行融合处理,然后,经时间校准后,再进行加权处理,得到飞机的最终融合结果。由于不同的雷达有不同的扫描周期,这里以警戒雷达站为基准,系统的融合结构见图 1。

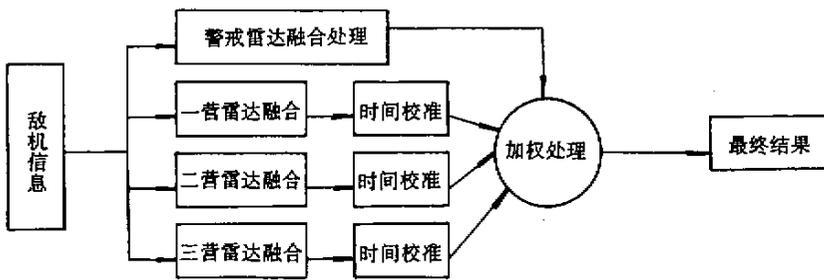


图 1 系统的融合结构

Fig.1 Fusion structure of the simulation system

2.3.2 最小二乘和卡尔曼滤波相结合的目标状态估计方法

(1) 卡尔曼滤波方法^[6]

设已知目标的运动方程和测量方程如下:

$$\begin{cases} x_{k+1} = \Phi_k x_k + \omega_k & \omega_k \text{ 为动态噪声} \\ y_k = H_k x_k + v_k & v_k \text{ 为测量噪声} \end{cases} \quad (1)$$

则卡尔曼滤波的估计公式为:

$$\bar{x}_k = \bar{x}_{k|k-1} + K_k (y_k - H_k \bar{x}_{k|k-1}), \quad (2)$$

其中 $\bar{x}_k = E(x_k | y_1, y_2, \dots, y_k)$ 为最小方差估计, $\bar{x}_{k|k-1} = E(x_k | y_1, \dots, y_{k-1}) = \Phi_{k-1} \bar{x}_{k-1}$ 为估计预测。

$$\text{增益 } K_k = P_{k|k-1} H_k^T [H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k]^{-1}$$

其中 $P_{k|k-1} = \Phi_k P_{k-1} \Phi_k^T + Q_{k-1}$ 与 $P_k = [I - K_k H_k] P_{k|k-1}$ 分别为 \bar{x}_k 的估计协方差及其预测。式中 Q_k 是 ω_k (具有零均值的白噪声) 的协方差; R_k 是 v_k (具有零均值的白噪声) 的协方差。

(2) 在卡尔曼滤波中引入最小二乘法

在这一系统的设计中,我们采用上述卡尔曼滤波方法进行目标的状态估计,在建立状态方程和测量方程时,选择飞机的位置分量和速度分量作为其状态矢量。但由于雷达所获取的测量中只包含位置信息,因此需要对位置测量值进行处理,以拟合出飞机的速度,考虑到传统的最小二乘法的简单性和可靠性,这里采用这种方法进行拟合。

(3) 系统的仿真结果

在对实际系统的仿真过程中,假设雷达对飞机的测量值满足一定的概率分布,我们得到的仿真结果见图 2 所示,其中不带“+”号的曲线代表真实位置与测量值之差,带有“+”号的曲线表示真实位置与滤波值之差。从图中可以看出经过滤波后的状态与测量值相比较,其精度更高。

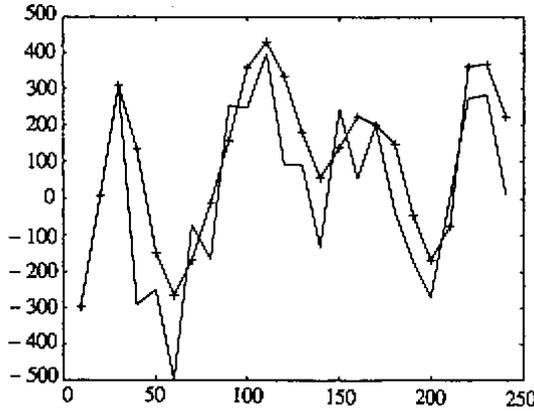


图 2 滤波算法的仿真结果

Fig.2 Simulation result of the filtering algorithm

2.4 Hopfield 神经网络在任务分配中的应用

2.4.1 离散 Hopfield 神经网络

离散 Hopfield 神经网络是一单层、对称的反馈网络,设 N 为一 n 阶神经网络,则 N 由 (W, θ) 确定,其中 W 为给定的权矩阵, θ 是一 n 维向量, θ_i 表示节点 i 的阈值。其数学模型如下:

$$\begin{cases} X_i(t+1) = \text{sgr}(H_i(t)) = \begin{cases} 1 & H_i(t) \geq 0 \\ 0 & H_i(t) < 0 \end{cases} \\ H_i(t) = \sum_{j=1}^n W_{ij}X_j(t) - \theta_i \end{cases} \quad (3)$$

若上述模型表示的神经网络从任一初态 $X(0)$ 出发,存在某一有限时刻 t ,有以下等式成立:

$$X(t+1) = X(t)$$

则称公式 (3) 所表示的网络是稳定的,反馈网络的一个重要特点就是它具有稳定状态,即系统的吸引子。离散型 Hopfield 神经网络的稳定状态满足:

$$X_i = \text{sgr}\left(\sum_{j=1}^n W_{ij}X_j(t) - \theta_i\right), \forall i.$$

2.4.2 改进 Hopfield 神经网络模型^[7]

空地对抗仿真中,当获取来袭敌机的空情后,指挥所需要根据战场上敌我双方的态势,实时地进行作战任务的分配,这是一典型的 0-1 规划问题,但考虑到执行效率及模型的复杂性,这里我们利用改进的离散 Hopfield 神经网络完成这一任务。假定部队下属 M 个基本火力单元,来袭敌机有 N 批,部队 i 相对第 j 批飞机的射击有利度为 c_{ij} , $X_{ij} = 1$ 表示将第 j 批飞机分配给第 i 个火力单元, $X_{ij} = 0$ 则表示未分配,设每个火力单元最多可分 K 批目标,每批目标最多分给 L 个火力单元,模型如下:

$$\Delta H_{ij} = -A f\left(\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^M X_{kj}, L\right) - B f\left(\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^N X_{ik}, K\right) + D c_{ij}(1 - X_{ij}) + E \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^M (f(c_{ij}, c_{kj}) X_{kj} \chi(1 - X_{ij}))$$

式中 $f(x, y)$ 函数在 $x > y$ 时等于 1, $x \leq y$ 时等于 0, 参数 A, B, D, E 均为常数。其中, 前两项为抑制力, 第一项表示当分配给第 j 批目标的火力单元大于 L 时的抑制力, 第二项表示分配给火力单元 i 的目标批次大于 K 时的抑制力; 后两项表示激励力, 其中第三项表示当对应的神经元未激活时, 由射击有利度所带来的激活项, 第四项表示与已分配的其它神经元相比, 对应神经元对于提高射击有利度的激活项。

2.4.3 仿真结果分析

在该仿真系统中, $M = 9, N = 3, L = 3, K = 1$ 。各作战单元相对每批敌机的射击有利度 c_{ij} (进行归一化处理) 如下:

$$c_{i1} = [0.9, 0.8, 0.7, 0.5, 0.4, 0.3, 0.7, 0.9, 0.7] \quad i = 1 \dots 9;$$

$$c_{i2} = [0.4, 0.3, 0.5, 0.5, 0.4, 0.3, 0.7, 0.9, 0.7] \quad i = 1 \dots 9;$$

$$c_{i3} = [0.1, 0.2, 0.1, 0.6, 0.9, 0.7, 0.3, 0.4, 0.4] \quad i = 1 \dots 9;$$

选择参数 $A = B = E = 70, D = 100$ 。网络经过 9 次迭代, 达到平衡, 得到仿真结果如下:

第一批飞机分配给火力单元 1, 2 和 3, 第二批目标分给火力单元 7, 8 和 9, 第三批分给火力单元 5 和 6, 火力单元 4 由于对各批敌机的射击有利度差别不大且较小, 未被分配。从仿真的结果来看, 这一模型能够反映仿真的实际过程, 仿真结果是可信的。

3 结论

数据融合技术是 20 世纪 80 年代兴起的信息处理技术, 目前已广泛地应用到 C^3I 系统、机器人、自动目标识别以及多源图像复合等领域, 无论是在理论, 还是在方法和技术上都取得了很大的进步; CGF 建模技术是随着分布式仿真技术的发展而提出的, 其实质是一信息的处理过程, 因此与数据融合技术具有相通的地方, 数据融合处理的一些基本思想可以应用到 CGF 建模中, 而且有关数据融合的一些方法也可直接进行应用。借鉴数据融合处理的一些思想和方法, 并与 CGF 建模进行结合, 将是一个有意义的、也是一个值得研究的方向。

参考文献:

- [1] Richard W P, Anne SM. Modeling Human and Organizational Behavior: Application to Military Simulations[R]. National Academy Press, 1998.
- [2] 刘同明. 数据融合技术及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [3] 胡卫东. 多传感器数据融合的理论与方法研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 1997.
- [4] 雍少为. 信息融合的基本理论及其在自动目标识别中的应用[D]. 长沙: 国防科技大学, 1997.
- [5] 刘曙光. C^3I 系统开发技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.
- [6] 谢衷洁. 滤波及其应用[M]. 长沙: 湖南教育出版社, 1995.
- [7] 刘秀罗, 黄柯棣. Hopfield 神经网络模型在火力分配算法中的应用研究[J]. 计算机仿真. 已录用.

