

基于模糊神经系统的多传感器数据融合算法

荣 健, 乔文钊

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】将自适应模糊神经推理系统(ANFIS)和卡尔曼滤波器应用于目标跟踪系统中,构成多传感器数据融合算法。该算法假设在目标运动过程中,过程噪声和测量噪声是相互独立的高斯白噪声序列。使用ANFIS分别对目标的加速度和测量噪声的方差进行估计,通过卡尔曼滤波器获得目标后验状态,最终由神经网络对多传感数据进行融合得到系统输出。仿真结果表明,该算法可以通过自适应调整跟踪参数有效地防止目标丢失。

关键词 数据融合; 模糊逻辑; 卡尔曼滤波; 多传感器系统; 神经网络

中图分类号 TN193

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2010.02.011

Neural-Fuzzy-Based Multisensor Data Fusion Architecture

RONG Jian and QIAO Wen-zhao

(School of Physical Electronics, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract An adaptive neural-fuzzy-based multisensor data fusion architecture for target tracking systems is presented. In this architecture, both process noise and measurement noise are modeled as uncorrelated zero-mean Gaussian noise sequences. Adaptive-network-based fuzzy inference systems (ANFIS) are employed to detect and estimate target maneuvers and measurement noise covariance matrices. They are considered as an adaptive mechanism to cooperate with Kalman filters to process multiple sensor data, which are fused by a specific neural network to obtain optimal results. The results of simulation demonstrate this architecture can avoid mistracking effectively by adjusting tracking parameters.

Key words data fusion; fuzzy logic; Kalman filtering; multisensor systems; neural networks

科学技术的迅猛发展以及军事和非军事领域技术复杂度的不断增长,都迫切需要利用新的技术手段对过多的信息进行分析和评估。因此,人们越来越意识到数据融合的重要性。目标跟踪系统在军事以及非军事领域都有广泛的应用,随着传感器技术和分布式计算方法的发展,越来越多的系统要求使用多个传感器以提高系统的性能。与单传感器系统不同,多传感器系统使用数据融合技术,可以获得所在环境更全面的信息,从而极大地提高系统的稳定性和精确性^[1-2]。

加速度的探测与估计是影响目标跟踪系统性能的主要因素之一。当目标产生加速度时,优秀的目标跟踪系统应当具备迅速探测捕获的能力,并通过对加速度值的估计对系统结果进行适当的补偿。测量噪声相关特性的估计是影响系统性能的另一重要因素。准确估计测量噪声的方差可以有效地提高跟踪结果的收敛速度,加速目标捕获的过程。近年来,

神经网络和模糊控制技术得到广泛的应用,为目标跟踪系统提供了全新的解决方案^[3-5]。

1 问题分析

对于一个二维目标跟踪系统,机动目标的动态模型可由以下线性模型表示:

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{A}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{B}\mathbf{u}_{k-1} + \boldsymbol{\omega}_{k-1} \quad (1)$$

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \quad (2)$$

式中 $\mathbf{x}_k = [x(k) \ y(k) \ v_x(k) \ v_y(k)]^T$ 为状态向量,表示目标在二维平面上的位置和速度; $\mathbf{u}_k = [a_x(k) \ a_y(k)]^T$ 为输入向量,表示目标在 x 和 y 方向的加速度; $\mathbf{z}_k = [z_x(k) \ z_y(k)]^T$ 为测量向量; $\boldsymbol{\omega}_k$ 和 \mathbf{v}_k 分别表示过程噪声和测量噪声。

$\boldsymbol{\omega}_k$ 和 \mathbf{v}_k 是相互独立的高斯白噪声序列,即:

$$E\{\boldsymbol{\omega}_k \boldsymbol{\omega}_j^T\} = \begin{cases} \mathbf{Q}_k & i = k \\ 0 & i \neq k \end{cases} \quad (3)$$

$$E\{v_k v_j^T\} = \begin{cases} R_k & i = k \\ 0 & i \neq k \end{cases} \quad (4)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}T^2 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}T^2 \\ T & 0 \\ 0 & T \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

式中 A 为转移状态矩阵; B 为输入矩阵; H 为测量矩阵; T 为传感器的采样周期。

2 卡尔曼滤波器

卡尔曼滤波器用反馈控制的方法估计过程某一时刻的状态,然后以(含噪声的)测量变量的方式获得反馈^[6]。因此,卡尔曼滤波器可分为时间更新方程和测量更新方程两个部分。

(1) 时间更新方程(预估方程)为:

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + B\hat{u}_{k-1} \quad (5)$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q_{k-1} \quad (6)$$

式中 \hat{x}_k^- 和 \hat{x}_k 分别为 x_k 的先验状态估计和后验状态估计; \hat{u}_k 为 u_k 的后验估计值; P_k^- 为先验估计误差协方差矩阵, 即有:

$$P_k^- = E\{[x_k - \hat{x}_k^-][x_k - \hat{x}_k^-]^T\} \quad (7)$$

后验估计误差协方差矩阵为:

$$P_k = E\{[x_k - \hat{x}_k][x_k - \hat{x}_k]^T\} \quad (8)$$

(2) 测量更新方程(校正方程)为:

$$K_k = P_k^- H^T [HP_k^- H^T + \hat{R}_k]^{-1} \quad (9)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k [z_k - H\hat{x}_k^-] \quad (10)$$

$$P_k = [I - K_k H]P_k^- \quad (11)$$

式中 \hat{R}_k 为测量噪声协方差矩阵的后验估计值; K_k 为卡尔曼增益或混合因数。

3 自适应模糊神经推理系统

自适应模糊神经推理系统(ANFIS)采用神经自适应学习技术对样本数据进行模糊建模, 通过自我

建立和调整自身结构得到最优解^[7-8]。自适应模糊神经推理系统的具体结构如图1所示。

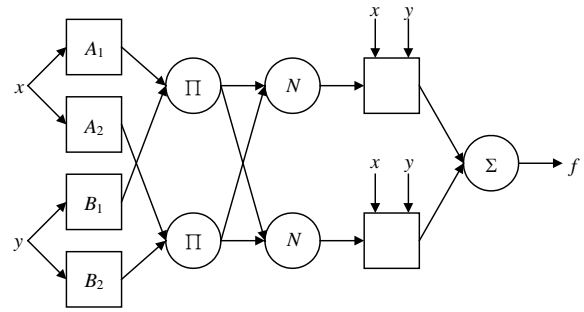


图1 自适应模糊神经推理系统

图中, x 和 y 是系统的输入, f 是系统的输出, 系统包含以下Takagi-Sugeno型模糊规则:

(1) 规则 1: If x is A_1 and y is B_1 , then

$$f_1 = p_1x + q_1y + r_1。$$

(2) 规则 2: If x is A_2 and y is B_2 , then

$$f_2 = p_2x + q_2y + r_2。$$

$\{p_i, q_i, r_i\}(i=1,2)$ 是系统参数集, 其值通过训练由系统自身决定。

4 特征提取

为了能够有效地提取出加速度和测量噪声的信息, 选取恰当的特征量作为ANFIS的输入非常重要。首先引入以下定义:

$$\tilde{x}_k = A\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1} \quad (12)$$

$$\tilde{z}_k = z_k - H\tilde{x}_k \quad (13)$$

式中 $\tilde{z}(k) = [\tilde{z}_x(k) \tilde{z}_y(k)]^T$ 为新值。

$$S_k = HP_k^- H^T + \hat{R}_k^- \quad (14)$$

式中 S_k 为理论协方差; \hat{R}_k^- 为测量噪声协方差矩阵的先验估计值。

文献[9]通过实践总结出如下3个特征量, 能有助于获取目标运动加速度的良好估计:

$$I_x(k) = \frac{\tilde{z}_x(k)}{s_{xx}(k)} \quad (15)$$

$$I_y(k) = \frac{\tilde{z}_y(k)}{s_{yy}(k)} \quad (16)$$

$$\theta(k) = \alpha_{LT}(k) - \alpha_{LT}(k-1) \quad (17)$$

式中 $s_{xx}(k)$ 和 $s_{yy}(k)$ 为理论协方差 $S(k)$ 的对角元素; $\alpha_{LT}(k)$ 和 $\alpha_{LT}(k-1)$ 分别为在采样时刻 k 和 $k-1$, 根据过去 N 个数据点(如 $N=3$) 计算得到的方向角估计, 即有:

$$\alpha_{LT}(k) = \mu \left[\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

其中:

$$\mu = \text{sgn} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x}) \quad (19)$$

$$\bar{x} = (1/N) \sum_{i=1}^N x_i \quad (20)$$

$$\bar{y} = (1/N) \sum_{i=1}^N y_i \quad (21)$$

用ANFIS提取加速度的原理是当没有机动加速度时,新值序列(由过去几组新值组成的一组数据)的均值为零。当有机动发生时,均值就不再等于零,利用此原理就可以提取加速度。

而对于测量噪声的调整,可以通过提取DoM特性来实现:

$$\hat{C}_k = \frac{1}{M} \sum_{i=i_0}^k \tilde{z}_k \tilde{z}_k^T \quad (22)$$

$$\text{DoM}_k = S_k - \hat{C}_k \quad (23)$$

式中 $i_0 = k - M + 1$ 为估算窗口的第一个采样点。窗口大小主要根据经验选择,原则是能够在窗口范围内的统计平滑^[10]。

5 仿真结果及分析

为了验证数据融合系统的有效性,可以通过以下两个实验了解系统的性能。

实验1 假设目标的初始位置为 $(x, y) = (0, 0)$ m, 以 $(v_x, v_y) = (50, 50)$ m/s 的速度运动,跟踪系统的采样周期 $T = 2$ s, 测量噪声方差为 $(20, 20)$ m。在第10个采样周期时,目标产生一个瞬时加速度 $(a_x, a_y) = (10, 10)$ m/s², 持续2 s。仿真结果如图2所示。

由仿真结果可以看出,当目标产生瞬时加速度时,卡尔曼滤波算法误差越来越大;而采用自适应模糊神经网络的数据融合算法却可以稳定工作,有效地防止了目标的丢失。

实验2 目标的初始状态与实验1相同。在第3个采样周期时,测量噪声方差改变为 $(1, 1)$ m。仿真结果如图3所示。

由仿真结果可以看出,相比于卡尔曼滤波算法,采用自适应模糊神经网络的数据融合算法可以更快地收敛于目标真实值。

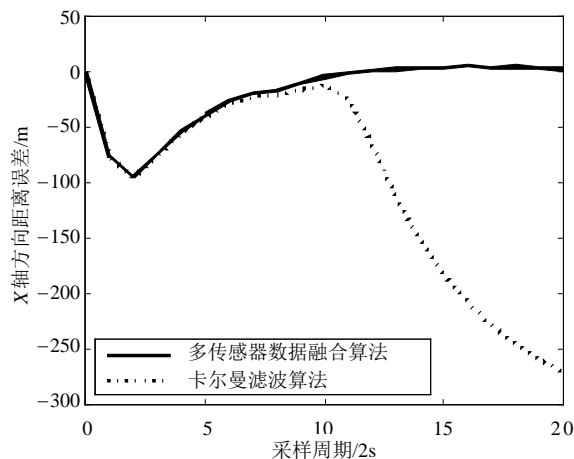


图2 目标加速度改变时跟踪系统X轴方向距离误差

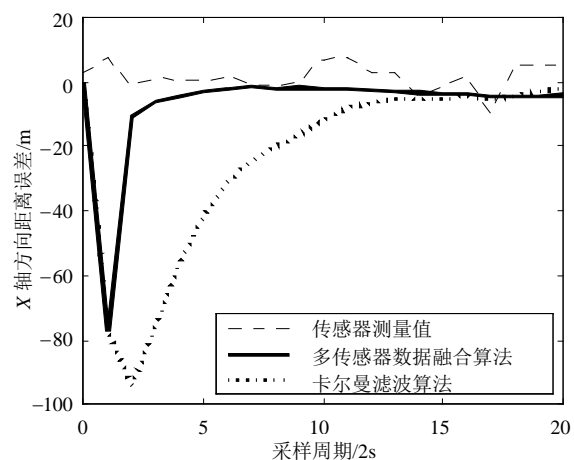


图3 传感器测量噪声改变时跟踪系统X轴方向距离误差

6 结束语

运用数据融合技术可以有效地发挥多传感器系统的优势,获取传感器周边环境更详细的信息。自适应模糊神经推理系统结合神经网络和模糊逻辑的优势,通过对采样数据的学习,调整系统结构和参数,极大地减小了对专家知识的依赖性。由仿真结果可以看出,采用自适应模糊神经推理系统的数据融合方法,可以对目标加速度和传感器测量噪声的改变进行快速响应,从而有效地防止目标丢失。

参考文献

- [1] SHETTY S, ALOUANI A T. A multisensor tracking system with an image-based maneuver detector[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1996, 32(1): 167-181.
- [2] POHL C, VAN GENDEREN J L. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods, and applications[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(5): 823-854.

(下转第424页)

- approach to measure IP traffic matrices[C]//Proceedings of IMC'04. Taormina: ACM Press, 2004: 161-174.
- [2] ZHANG Y, ROUGHAN M, DUFFIELD N, et al. Fast accurate computation of large-scale IP traffic matrices from link loads [J]. ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, 2003, 31(3): 206-217.
- [3] ZHANG Y, ROUGHAN M, LUND C. et al. Estimating point-to-point and point-to-multipoint traffic matrices: an information-theoretic approach[J]. IEEE/ACM Transaction on Networking, 2005, 13(5): 947-960.
- [4] TAN L, WAND X. A novel method to estimate IP traffic matrix[J]. IEEE Communications Letters, 2007, 11(11): 907-909.
- [5] SOULE A, LAKHINA A, TAFT N et al. Traffic matrices: balancing measurements, inference and modeling[J]. ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, 2005, 33(1): 362-373.
- [6] TEBALDI C, WEST M. Bayesian inference on network traffic using link count data[J]. Journal of American Statistics Association, 1998, 93(442): 557-576.
- [7] CAO J, DAVIS D, WEIL S V et al. Time-varying network tomography: router link data[J]. Journal of American Statistics Association, 2000, 95 (452): 1063-1075.
- [8] JUVA I. Sensitivity of traffic matrix estimation techniques to their underlying assumptions[C]//Proceedings of ICC'07. Glasgow: IEEE, 2007: 562-568.
- [9] 周静静, 杨家海, 杨 扬, 等. 流量矩阵估算的研究[J]. 软件学报, 2007, 18(11): 2669-2681.
- ZHOU Jing-jing, YANG Jia-hai, YANG Yang, et al. Research on traffic matrix estimation[J]. Journal of Software, 2007, 18(11): 2669-2681.
- [10] 蒋定德, 胡光岷. 流量矩阵估计研究综述[J]. 计算机科学, 2008, 35(4): 5-9.
- JIANG Ding-de, HU Guang-min. Overview of the traffic matrix estimation research[J]. Computer Science, 2008, 35(4): 5-9.
- [11] HORNIK K, STINCHCOMBE M, WHITE H. Multilayer feedforward networks are universal approximators[J]. Neural Networks, 1989, 2: 359-366.
- [12] REN J, LI Z, JIANG C. Uncertain relation suited to overfitting of BP neural network[J]. Journal of Electronic Science and Technology of China, 2004, 2(1): 53-57.

编辑 张俊

(上接第375页)

- MISRA P, ENGE P. Global positioning system signals, measurements, and performance[M]. 2nd ed. Translated by LUO Ming, CAO Chong, XIAO Xiong-bing. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008: 159-168.
- [11] CAO Yi-chao. Target localization based on angle of arrivals [J]. Journal of Electronic Science and Technology of China, 2007, 5(2): 172-174.
- [12] 李吉忠, 武穆清, 李筱叶. 利用Marquardt算法进行两颗卫星的AGPS定位[J]. 北京邮电大学学报, 2009, 32(2): 39-42.
- LI Ji-zhong, WU Mu-qing, LI Xiao-ye. Two satellites positioning method of AGPS with Marquardt algorithm[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2009, 32(2): 39-42.

编辑 张俊

(上接第378页)

- [3] ATKINSON P M, TATNALL A R L. Neural networks in remote sensing[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(4): 699-709.
- [4] CHOWDHURY F N. A neural approach to data fusion[C]//Proceedings of the 4th American Control Conference. Seattle, USA: IEEE, 1995: 1693-1697.
- [5] ZHANG Tian-qi, ZHOU Zheng-zhong. A neural network approach to blind estimation of PN spreading sequence in DS/SS signals[J]. Journal of Electronic Science and Technology of China, 2004, 2(2): 1-6.
- [6] MAYBECK P S. Stochastic models, estimation, and control[M]. New York: Academic Press, 1979.
- [7] JANG J S R. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1993, 23(3): 665-685.
- [8] DUH F B, LIN C T. Tracking a maneuvering target using neural fuzzy network[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Part B), 2004, 34(1): 16-33.
- [9] SUNDARESHAN M K, AMOOZEGAR F. Neural network fusion capabilities for efficient implementation of tracking algorithms[J]. Optical Engineering, 1997, 36(3): 692-707.
- [10] ESCAMILLA-AMBROSIO P J, MORT N. Hybrid Kalman filter-fuzzy logic adaptive multisensor data fusion architectures[C]//Proceedings of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control. Maui, Hawaii, USA: IEEE, 2003: 5215-5220.

编辑 黄莘