

文章编号: 1001-9081(2012)06-1757-03

doi: 10.3724/SP.J.1087.2012.01757

基于平均值迭代的多目标数据融合算法

毛关利华^{*}, 杜昌平

(浙江大学 航空航天学院, 杭州 310027)

(*通信作者电子邮箱 mglh124@163.com)

摘要: 针对多平台多目标量测数据的通信、量测等方面的不确定性, 提出了一种基于平均值迭代法的多平台集中式数据融合算法。该方法首先采用最近邻法进行多平台多传感器数据关联, 进而利用关联后数据的平均值循环迭代更新测量数据中的最大、最小值, 直到满足规定的精度要求, 从而实现多平台多传感器数据融合。避免了一些传统算法的复杂计算过程, 提高了计算速度, 且能满足融合结果的精度需求。通过仿真实例, 验证了该算法的可行性和有效性。

关键词: 多平台; 多传感器; 不确定性; 平均值迭代; 数据融合

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Data fusion algorithm based on meanvalue iteration

MAO Guan-lihua^{*}, DU Chang-ping

(School of Aeronautics and Astronautics, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310027, China)

Abstract: Concerning the uncertainty in multi-sensor communications and data measurement, a multi-platform centralized algorithm of meanvalue iteration based on the traditional meanvalue was presented. This method utilized the nearest neighbor analysis to have the measurement data correlation firstly, then utilized the meanvalue algorithm to circularly replace the maximal and minimal values in measurement data, until they reached the required precision to achieve the multi-platform data fusion. This method avoided complex computational process, increased computation speed, and also ensured precision of the results. Finally, the simulation result proves the validity of the method.

Key words: multi-platform; multi-sensor; uncertainty; meanvalue iteration; data fusion

0 引言

在工程应用实践中, 由于测量仪器本身精度、环境干扰、人为等各方面因素的影响, 使得测量的结果存在着很大的不确定性。而数据融合技术则是基于多个传感器测量的数据, 经过适当的综合分析和处理, 最终融合得出比单传感器精度和可靠性更高的结果。因此, 数据融合技术对解决工程实践中测量不确定性具有重要的应用价值。近年来, 随着计算机技术、通信技术、传感器技术等的快速发展以及密切结合, 数据融合技术越来越多地渗透到军事、工业、农业等各个领域, 受到越来越多的学者和研究人员的关注^[1-3]。

国内外学者在数据融合技术和算法方面^[4-11]做了广泛的研究, 并且也有较多的相关报道, 其主要集中在算法模型与各种算法的相互结合、工程实践等方面。文献[4]讨论了针对参数估计常用的平均值法、最小二乘法、加权最小二乘估计法以及最大似然估计法等方法; 文献[5]针对多传感器数据融合过程中测量数据存在偏差影响精度的问题, 提出了一种基于 k 均值聚类和最小二乘的数据融合方法; 文献[6]将来自图像传感器的多种图像特征, 通过 D-S 证据理论将这些特征信息进行融合并应用于目标的识别, 取得了较好的结果; 文献[7]则讨论了一种基于相对距离比较实用的多传感器数据融合方法, 该方法利用隶属度函数的优点, 通过合理分配测量数据间的权重, 得到了比较好的结果; 文献[8]针对我国各检测器间相互独立形成孤岛信息、数据采用多样和精度不一致

等现状, 提出了采用贝叶斯估计、模糊逻辑等数据融合方法建立多源异构交通信息多层次融合体系, 在城市交通状态估计的仿真中得到了较高、较可靠的信息精度; 文献[9]为实现火灾早期预警, 通过对火灾发生过程和产物的研究比较, 采用多传感器对火灾发生初期特征较明显的几个参数进行监测, 利用 D-S 证据理论对多传感器数据进行融合分析, 实现对同一目标的判定, 提高了预警的准确性和可靠性; 文献[10]探究了探测与定位放射源的分布式传感器网络(Distributed Sensor Network, DSN)关键参数之间的基本关系, 并给出了探测放射源的时间、概率、系统消耗等方面的数据仿真与分析, 阐明了数据融合与通信过载的优势; 文献[11]则对目前多传感器数据融合方式的主要特点、方法及应用进行了综述, 并重点阐述了几种多传感器数据融合算法的研究进展。以上方法虽然能得到较好的结果, 但中间过程均较为复杂, 而且对于贝叶斯、证据理论等方法需要众多的先验知识, 在实际过程中可能无法得到这些知识, 因而无法运用此类算法。

本文提出的一种基于迭代平均值法的多平台集中式数据融合算法不需要先验知识, 可以运用于一般模型, 适合于多平台多传感器多目标量测数据的通信、量测等方面的不确定性以及难以精确建模和分析等问题。该方法首先采用最近邻法进行多平台多传感器数据关联, 进而利用关联后数据的平均值循环迭代更新测量数据中的最大、最小值, 直到满足规定的精度要求, 避免了一些传统算法的复杂计算过程, 提高了计算速度。

收稿日期: 2011-11-15; 修回日期: 2012-01-07。

作者简介: 毛关利华(1986-), 男, 浙江丽水人, 硕士研究生, 主要研究方向: 多传感器数据融合; 杜昌平(1978-), 男, 安徽和县人, 副教授, 主要研究方向: 航空火控技术、多传感器数据融合。

1 数据融合系统

数据融合技术是指利用计算机对按时序获得的若干观测信息,在一定准则下加以自动分析、综合,以完成所需的决策和评估任务而进行的信息处理技术。

1.1 数据融合结构

数据融合系统主要由多传感器检测、校准、相关、状态估计和目标识别等部分组成^[12],如图1所示,其功能如下:

1) 检测。传感器动态扫描实现信号的检测和判断,一旦判为目标,就把各观测区的各种测量参数(目标特性参数和状态参数)传送给数据融合中心。

2) 校准。数据对准单元的作用是为了统一各传感器的时间和空间参考点。若各传感器在时间和空间上是独立异步的,则必须进行时间搬移和坐标变换,以形成融合所需的统一的时间和空间参考点。

3) 相关。判别不同时间空间的数据是否来自同一目标。每次扫描结束时,相关单元将收集到的某个传感器的新报告,与其他传感器的新报告以及该传感器过去的报告进行相关处理,采用的办法可以很多,如最近邻域法、贝叶斯方法等。

4) 状态估计。每次扫描结束时就将新数据集与原有的数据进行融合,根据传感器的观测值估计目标参数,并利用这些估计预测以下一次扫描中目标的位置。状态估计单元的输出是目标的状态估计,如状态向量航迹。

5) 目标识别。即根据不同传感器测得的目标特性形成一个N维的特征向量,其中每一维代表目标的一个独立特性。若预先知道目标有m个类型,以及每个目标的特性,则可将实测特征向量与抑制类别的特征进行比较,从而确定目标的类别。

本文在上述数据融合架构下,根据应用想定,通过仿真计算目标和传感器的位置、速度、姿态以及传感器测量特性等,建立多平台多传感器数据融合平台,进而主要研究融合滤波处理算法模型。

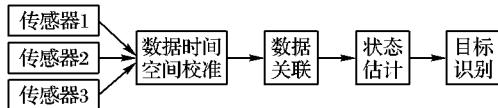


图1 数据融合结构

1.2 多平台多目标数据融合

本文研究的多平台多目标数据融合过程大致如下:首先,地基或机载传感器检测到来自多个目标的信号,然后将该观测数据传递给数据融合中心,数据融合中心经过时空校准将观测数据统一到参考点上,并根据数据相关后的融合算法得出目标的相关参数(速度、位置等)。

文中考虑n个传感器组成的多传感器系统,目标数目为m个,如图2所示。图中 B_i ($i = 1, 2, \dots, n$)表示第i个传感器, A_j ($j = 1, 2, \dots, m$)表示第j个目标, OXY 为参考坐标系, \mathbf{R}_{oi} , \mathbf{R}_{ij}^t , \mathbf{R}_{oi}^t 分别表示传感器 B_i 相对参考坐标系原点O的参数、目标 A_j 相对于传感器 B_i 的参数、目标 A_j 相对于参考坐标系原点O的参数。

设 $\mathbf{R}_{oi}(t)$ 为经过时间对准的t时刻传感器 B_i 相对于参考坐标系的位置, $\mathbf{R}_{ij}(t)$ 为t时刻目标 A_j 相对于传感器 B_i 的位置,则目标j相对于参考坐标系的位置可由下式得到:

$$\mathbf{R}_{oi}^t(t) = \mathbf{R}_{oi}(t) + \mathbf{R}_{ij}(t)$$

从而得到t时刻多个传感器相对目标测量的一组位置值

$$\mathbf{R}_{oi}^t(t) = (\mathbf{R}_{o1}^t(t), \mathbf{R}_{o2}^t(t), \dots, \mathbf{R}_{on}^t(t)); i = 1, 2, \dots, n$$

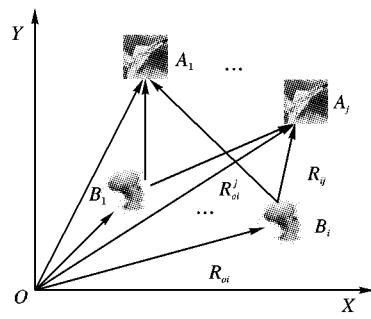


图2 目标与传感器相对位置图

1.3 多平台多目标数据融合分析

对于多平台数据融合,能有效地对目标进行检测、定位、跟踪和识别,而这都得益于多平台的编队协同,这种机制能将分布于不同地理位置的同类或不同类的传感器所量测到的数据进行协同融合、相互补充,完成对目标的统一描述,有效地提高观测数据的精度和容错性,扩大探测空间,提高系统对观测数据的利用率。

但对于多平台多目标数据融合,由于传感器本身、环境、人为等因素的影响,在通信和量测上总是存在着很大的不确定性。在通信方面,由于传感器离目标距离的远近、测量时钟周期不一、环境等方面的影响,传感器得到的数据总是不同步有延迟的,并且存在着一定的随机误差,因而对融合的结果将产生影响;在量测方面,由于传感器自身的精度、计算的精度等影响,融合系统将产生不确定性的随机误差,特别是在数据的时空校准方面,可能在传感器量测数据上可得到线性关系,但是由于坐标转换,从而将引入正弦或者余弦函数的非线性关系,进一步提升了量测的不确定性。

基于上述通信、量测的不确定性,要精确地建立一个模型并进行分析,往往很难实现,为此本文提出了基于平均值迭代的方法,该方法是一种多平台集中式数据融合处理方法,可以应用于一般模型,处理快,并且能保证一定的精度。

2 平均值迭代数据融合

在多传感器对多目标的实际融合过程中,对于多平台多传感器数据关联后某一时刻t得到的多组观测数据,受到数据通信时延、传感器量测误差及其时空对准转换误差等的影响,因此,如何处理这些偏差以使这些偏差值在融合之后达到最小是关键所在,本文提出的平均值迭代算法不依赖于精确的数学模型,能有效处理不确定性误差,实现数据融合计算。

设 x_1, x_2, \dots, x_n 表示n个传感器对某一被测参数进行m次测量所得到的测量数据,由于传感器自身精度以及环境的影响,测量的结果总是存在着误差,传统的平均法就是将所有的测量值之和除上测量的样本数目,这种方法使误差较大的数据对结果的精度产生很大的影响,甚至使结果根本就是无效的。

平均值迭代法采用这样一种机制:循环地用平均值更新测量数据中的最大值和最小值,从而使偏离真实值的误差在每一次更新的过程中减少,直到达到给出的精度要求算法才停止。这样就能把测量样本中由偏离真实值较大或较小的值在迭代过程中降低。算法步骤如下:

1) 计算样本的平均值 t_1 ,找出样本中的最大值 $x_i = \max\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,令 $x_i = t_1$ 。

2) 计算样本更新后的平均值 t_2 ,找出样本中的最小值 $x_j = \min\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,令 $x_j = t_2$ 。

3) 再次计算样本更新后的平均值 t_3 ,并求出 t_3 与更新后的样本 (x_1, x_2, \dots, x_n) 差的绝对值之和 e ,即 $e = \sum_{i=1}^n \| (t_3 - x_i) \|$ 。

4) 若 $e > \varepsilon (\varepsilon > 0)$,则令 $t_1 = t_3$,转到步骤1)进行计算;否则结束计算,给出计算结果 t_3 ,即为 (x_1, x_2, \dots, x_n) 的最佳融合结果。其中, $\varepsilon > 0$,为融合的精度要求; $i, j = 1, 2, \dots, n$ 。

3 仿真结果及分析

本文仿真计算的传感器数3个,其中机载传感器2个,地面传感器1个,其初始位置分别如下:传感器1(3500 m, 7000 m),传感器2(5000 m, 7000 m),传感器3(6000 m, 2000 m),前2个机载传感器均以(160 m/s, 0 m/s)的速度匀速飞行,后1个为地面传感器;目标数目为3个,初始位置分别为:目标1(5000 m, 10000 m),以(200 m/s, 0 m/s)的速度匀速飞行,目标2(6000 m, 9000 m),以(180 m/s, 5 m/s)的速度匀速飞行,目标3(4500 m, 9000 m),以速度(180 m/s, -10 m/s)飞行。单传感器的位置测量精度为5%,测量周期为1 s。进行500次Monte Carlo仿真。由于在测量的过程中,传感器时间与公共处理时间的差值很小,故在测量中不考虑时间对准问题。

图中算法1为传统平均值算法,算法2为本文算法,算法3为基于数据间支持度的算法^[7]。部分仿真结果如图3~6所示。

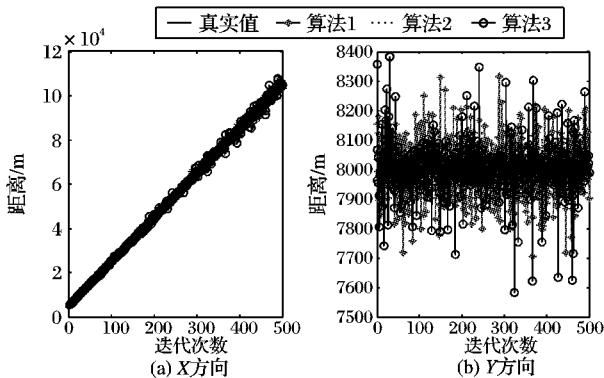


图3 3种算法对目标1在X、Y方向上航迹

表1 测量融合结果与真实值之间差值的平均值(m)及方差(m²)

算法	x_{1m}	y_{1m}	σ_{1x}	σ_{1y}	x_{2m}	y_{2m}	σ_{2x}	σ_{2y}	x_{3m}	y_{3m}	σ_{3x}	σ_{3y}
算法1	658.08	78.14	42.25	4.35	633.83	131.60	41.07	7.46	592.70	68.99	38.24	3.87
算法2	524.06	41.63	34.91	2.30	457.68	125.77	30.75	7.26	453.27	54.74	32.02	3.52
算法3	611.24	55.04	48.42	3.89	355.03	162.33	26.20	10.06	260.13	65.81	20.09	4.63

计算测量融合结果与目标真实值差值绝对值的平均值以及测量融合结果与目标真实值差值的方差如表1。其中 x_{1m} (或 y_{1m})表示X(或Y)方向融合结果对于目标航迹1的平均距离, σ_{1x} (或 σ_{1y})表示X(或Y)方向融合结果自身的波动程度。

由于目标2的融合结果与误差图与目标3的图相似,故没在文中给出。从图3~6以及表1可见,本文方法无论是在最终的融合结果上还是与真实值的误差上,都要比传统平均值法好,而与文献[7]方法则比较接近。

从表1可见,本文算法离真实值距离的平均值和方差都要比传统的方法精度要高,而与文献[7]方法比较,在X方向上精度要低一些,在Y方向上的精度则要高一些,说明了本文

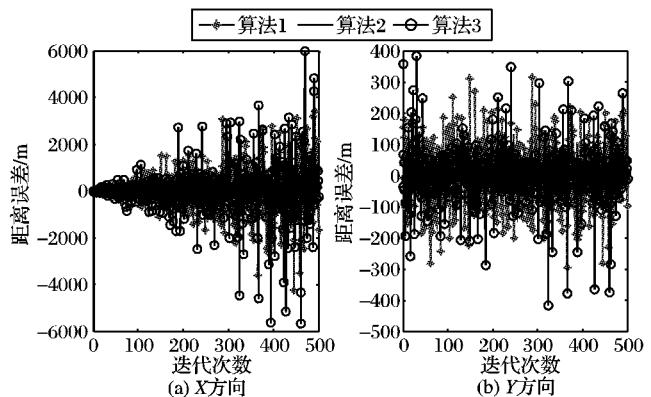


图4 3种算法相对目标1在X、Y方向距离误差

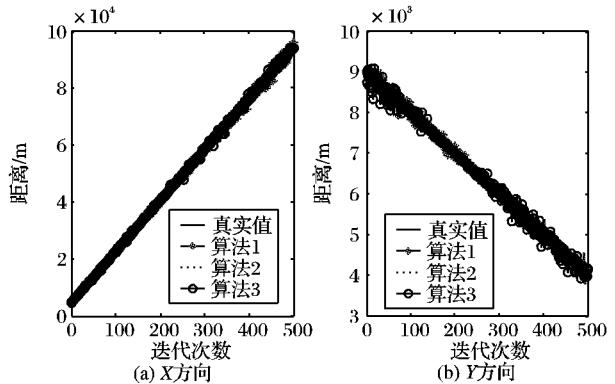


图5 3种算法对目标3在X、Y方向上航迹

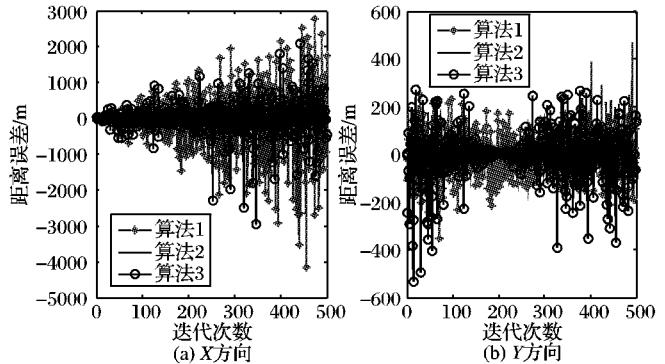


图6 3种算法相对目标3在X、Y方向距离误差

方法的有效性。此外,本文算法过程简单,数据融合的层次清晰,并且很容易在计算机上实现。

4 结语

伴随着对于传感器测量的高精度、高可靠性等方面的要求,数据融合技术在计算机技术、通信技术、信号检测与处理等基础上将以更加迅猛的势头发展,并将越来越多地应用到工业、国防等方面。本文提出的基于平均值的迭代数据融合算法,采用最近邻法进行多平台多传感器数据关联,进而利用关联后数据的平均值循环迭代更新测量数据中的最大、最小值,直到满足规定的精度要求,实现多平台多传感器数据融合。避免了一些传统算法的复杂计算过程,提高了计算速度,

(下转第1765页)

电弧多传感信息融合技术在焊缝跟踪方面都是可靠的,并能有效地进行纠偏补偿,分析实验中系统存储的数据信息得出焊缝横向方向跟踪精度能够达到0.4 mm以内,高度方向精度达到0.5 mm以内,具有较好的跟踪精度,满足焊接质量要求。因此,实验结果也验证了所提出的算法的可行性和合理性和合理性。

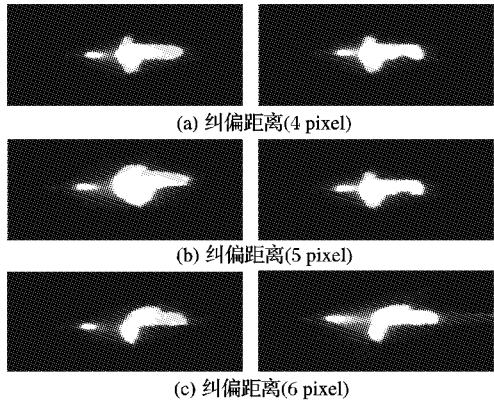


图11 焊缝纠偏前后对比

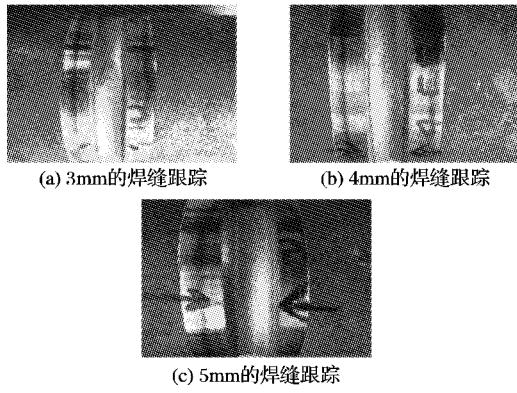


图12 焊接效果

4 结语

本文提出了基于视觉与电弧多信息传感融合的焊缝跟踪算法,视觉传感器利用图像处理相关算法实现焊缝的横向跟踪;电弧传感器利用电流与高度的线性关系实现焊缝的高度跟踪。在弧焊机器人MIG脉冲焊过程中,通过将视觉传感器得到的图像信息和电弧传感器得到的电流信息的融合,实现

(上接第1759页)

且能满足融合结果的精度需求。仿真结果表明了算法的可行性和有效性。

参考文献:

- [1] 高刚. 一种树形结构的多传感器数据融合算法[J]. 电子信息对抗技术, 2008, 23(4): 29–31.
- [2] 孙尧, 朱林, 徐兴杰, 等. 基于数据融合树的C³I信息融合系统体系结构设计[J]. 航空学报, 2006, 27(2): 305–309.
- [3] TAY W P, TSITSIKLIS J N, WIN M Z. Data fusion trees for detection: Does architecture matter[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2008, 54(9): 4155–4168.
- [4] 史忠科. 最优估计的计算方法[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 3–18.
- [5] 李菲菲, 徐汀荣. 基于K-均值聚类和最小二乘的数据融合方法[J]. 微计算机信息, 2011, 27(4): 219–220.

了焊接过程中传感器对焊缝的有效跟踪的目的,提高了机器人焊接质量。

参考文献:

- [1] 李云峰, 赵熹华, 黄滨安, 等. 视觉传感螺旋管埋弧焊内焊缝自动跟踪系统[J]. 机械工程学报, 2008, 44(7): 237–240.
- [2] 王其隆. 弧焊过程质量实时传感与控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [3] BAE K Y, LEE T H, AHN K C. An optical sensing system for seam tracking and weld pool control in gas metal arc welding of steel pipe [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 120(2): 458–465.
- [4] OSHIMA K, MORITA M, et al. Observation and digital control of the molten pool in pulsed MIG welding[J]. Welding International, 1988, 2(3): 234–240.
- [5] 郭祖魁. 摆动式电弧焊缝跟踪技术的研究现状[J]. 电焊机, 2009, 39(4): 36–38.
- [6] 刘鹏飞, 赵陈, 王嘉永, 等. 基于多传感器信息融合技术的智能视频监控系统研究[J]. 电子测试, 2011, 21(2): 65–68.
- [7] 岳建锋, 张翠宣, 李亮玉. 基于多信息融合理论的MIG焊机器人焊接质量控制[J]. 机械工程, 2009, 14(6): 12–15.
- [8] CHEN HAIYAN, LU JUNHONG. The image process technologies in face recognition[C]// 2010 2nd International Conference on Information Science and Engineering. Piscataway: IEEE Press, 2010: 4151–4154.
- [9] LIU XIWEN. Image processing in weld seam tracking with laser vision based on radon transform and FCM clustering segmentation [C]// 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. New York: ACM Press, 2010: 470–473.
- [10] HE KUANFANG, WU JIGANG, LI XUEJUN. Wavelet analysis for electronic signal of submerged arc welding process[C]// 2011 3rd International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. Piscataway: IEEE Press, 2011: 1139–1141.
- [11] 潘际銮. 现代弧焊控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [12] 吴林, 陈善本. 智能化焊接技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [13] 甘亚辉, 戴先中. 正弦摆动电弧传感偏差信息提取[J]. 焊接学报, 2009, 30(9): 89–92.
- [14] 来鑫, 洪波, 尹力, 等. 焊缝跟踪中的高低跟踪方法研究[J]. 焊管, 2008, 31(4): 35–37.

- [6] 宋建勋, 张进. 基于D-S证据理论的多特征数据融合算法[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(7): 96–98.
- [7] 胡振涛, 刘先省. 一种实用的数据融合算法[J]. 自动化仪表, 2005, 26(8): 7–9.
- [8] 徐涛, 杨晓光. 面向城市道路交通状态估计的数据融合研究[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(7): 218–221.
- [9] 赵英, 陈淑娟. 基于多传感器数据融合的火灾预警系统[J]. 现代电子技术, 2010, 33(24): 173–175.
- [10] LIU A H, BUNN J J, CHANDY K M. An analysis of data fusion for radiation detection and localization[C]// IEEE Information Fusion Conference. Piscataway: IEEE Press, 2010: 1–8.
- [11] 黄漫国, 樊尚春, 郑德智, 等. 多传感器数据融合技术研究进展[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(3): 5–8.
- [12] 刘同明, 夏祖勋, 解洪成, 等. 数据融合技术及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.