

多传感器信息最优融合*

王光泰** 周先敏 徐继麟

(电子科技大学电子技术系 成都 610054)

【摘要】 多传感器信息融合是指将经过集成处理的多传感器数据进行合成,形成对外部环境某一特征的一种表达方式的过程。利用置信区间估计的概念,检验了传感器测量值偏差;描述了传感器间的支持关系,确定了传感器数据的取舍;提出了一种最优融合方法,并且证明是有效的。

关键词 传感器; 信息融合; 置信距离; 最优化; 算法

中图分类号 TN911.7; TP14

在信息时代中,作为“信息触角”的传感器获得迅猛发展,各种面向复杂应用环境的多传感器信息系统随之大量涌现。在这些系统中,信息表现形式的多样性,信息容量以及信息处理速度要求已大大超出人脑的信息综合能力。信息融合技术便应运而生。

信息的数据融合是对信源数据进行多级处理,每一级处理都代表了对原始数据的不同程度的抽象化。它包括对数据的检测、关联、估计和组合等处理。

1 置信距离

在信息数据融合中,可以用一个置信距离测量来比较传感器数据及检测可能出错的传感器数据以确定一致传感器数据。通常传感器测量模型可以由正态分布的概率密度函数描述。定义“置信距离” d_{ij} 和 d_{ji} 作为传感器*i*与传感器*j*之间一致性检验

$$d_{ij} = 2 \left| \int_{x_i}^{x_j} P_i(x | x_i) P_j(x_i) dx \right| = 2A \quad (1)$$

$$d_{ji} = 2 \left| \int_{x_j}^{x_i} P_j(x | x_j) P_i(x_j) dx \right| = 2B \quad (2)$$

式(1)(2)中的A、B是两传感器测量值 x_i 和 x_j 在概率分布曲线 $P_i(x)$ 或 $P_j(x)$ 下的面积。一般情况下, $d_{ij} \neq d_{ji}$ (除非两标准偏差 $\sigma_i = \sigma_j$), $0 \leq$

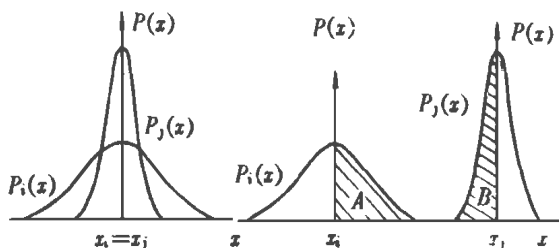


图 1 d_{ij} 的极限情况

$d_{ji} \leq 1$

极限情况为: 1) $x_i = x_j$ $d_{ij} = 0$; 2) x_i 远离 x_j $d_{ij} = 1$ 如图 1 所示。

这种“置信距离测量”有两个优点: 1) 提供一个概括范围值作为上述给定距离的测量; 2) 表示“一置信测量”距离比值的意义。例如,如果 $d_{ij} = 0.6$,是指在传感器检测值 x_i 正确的情况下,那么传感器测量值 x_j 在概率分布 $P_i(x)$ 下在 60% 的置信间隔之内。置信间隔的百分数越高, x_i 和 x_j 之间

1997 年 2 月 1 日收稿,1997 年 6 月 30 日修改定稿

* 国家自然科学基金资助项目,基金号: 69572011

** 男 59 岁 大学 副教授

的距离就越大。为了求置信距离,可用一个误差函数来计算

$$\text{erf}(\theta) = \frac{2}{\sqrt{c}} \int_0^\theta \exp(-Z^2) dz \tag{3}$$

设

$$Z = \frac{x - x_i}{2 \epsilon_i} \quad dz = \frac{1}{2 \epsilon_i} dx$$

式(3)变为

$$\text{erf}(\theta) = \frac{2}{c \epsilon_i} \int_{x_i}^{x_i + \sqrt{2} \theta \epsilon_i} \exp[-(x - x_i)^2 / 2 \epsilon_i^2] dx \tag{4}$$

$$x_j = x_i + \sqrt{2} \theta \epsilon_i, \text{ 则 } \theta = \frac{x_j - x_i}{2 \epsilon_i}$$

式(4)为

$$\text{erf}\left[\frac{x_j - x_i}{2 \epsilon_i}\right] = \int_{x_i}^{x_j} P_i(x/x_i) dx \tag{5}$$

由 $P_{ij} = P_i(x_i/x_j)$, $P_{ji} = P_j(x_j/x_i)$ 和式(5)可以计算置信距离为(假设 $x_j > x_i$)

$$d_{ij} = \int_{x_i}^{x_j} P_i(x/x_i) P_i(x_i) dx = 2P_i(x_i) \int_{x_i}^{x_j} P_i(x/x_i) dx = \frac{1}{2c \epsilon_i} \exp[-(x_i - M)^2 / 2 \epsilon_i^2] \text{erf}\left[\frac{x_j - x_i}{2 \epsilon_i}\right] \tag{6}$$

$$d_{ji} = \int_{x_j}^{x_i} P_j(x/x_j) P_j(x_j) dx = 2P_j(x_j) \int_{x_j}^{x_i} P_j(x/x_j) dx = \frac{1}{2c \epsilon_j} \exp[-(x_j - M)^2 / 2 \epsilon_j^2] \text{erf}\left[\frac{x_i - x_j}{2 \epsilon_j}\right] \tag{7}$$

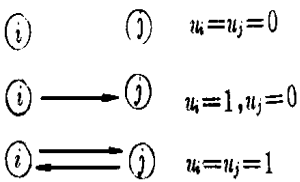
假定用 m 个传感器测量一个相同的物体特性,总的置信距离可用一个矩阵表示

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mm} \end{bmatrix} \tag{8}$$

2 相关矩阵

根据 D 矩阵可以定义相关矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mm} \end{bmatrix} \tag{9}$$



式中 n_{ij} 由 d_{ij} 及阈值 d_0 确定

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & d_{ij} \leq d_0 \\ 0 & d_{ij} > d_0 \end{cases}$$

与 R 矩阵相应的关系图也可得到。如果 $r_{ij} = 1$,表示第 i 个传感器支持第 j 个传感器;如果 $r_{ij} = 0$,表示第 i 个传感器不支持第 j 个传感器。三种支持关系如图 2 所示。从传感器的关系图能确定相关较大的一组 (k 个)传感器测量数据,并对它们实施最优融合。

图 2 传感器三种支持关系

3 模拟试验

待测参数的真值用高一等级仪器测得的实际值代替。采用 10 组传感器测量的数据并用真值归一化为 $x_i (i= 1, 2, \dots, 10)$, 分别为 1. 01, 0. 98, 0. 99, 0. 97, 0. 51, 0. 66, 1. 01, 1. 03, 1. 02, 1. 46 其相应的方差 σ^2 分别为 0. 05, 0. 07, 0. 10, 0. 20, 0. 30, 0. 25, 0. 10, 0. 10, 0. 20, 0. 30 设定 $d_0= 0. 22$, 根据数据计算出置信矩阵 D 和相关矩阵 R 及融合结果。由此, 根据相关矩阵绘制传感器的关系图, 如图 3 所示。从图中可知, 传感器①~④和⑦~⑨相互支持, 可结合在一起作为一个上位结点 \odot , 如图 4 所示

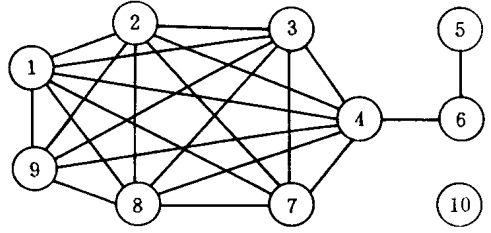


图 3 传感器的关系图

最后对上位结点中的互相支持的 7 个传感器数据实施最优融合。10 组传感器数据的分布及其融合结果曲线如图 5 所示。计算机输出的融合结果为 1. 001 429, 取舍后相对误差为 1. 4%, 接近实际值, 故最优融合算法是有效的。

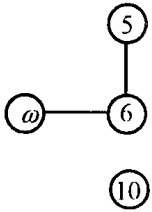


图 4 结合后关系图

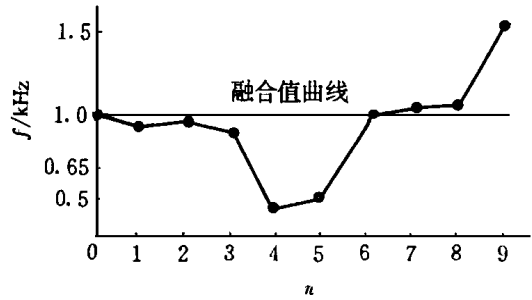


图 5 数据融合曲线

参 考 文 献

- 1 Luo R C, Key M G. Multisensor integration and fusion in intelligent systems. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, 1989, 19(5): 90~ 931
- 2 Luo R C, Lin M, Scherp P C. Dynamic multisensor date fusion system for intelligent robots. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1988, 4(4): 386~ 396
- 3 SCA Thomopoulos. Sensor integration and data fusion. J Robstic Syst, 1990, 7(3): 337~ 372

Optimization of Multisensor Information Fusion

Wang Guangtai Zhou Xianmin Xu Jlin

(Dept. of Electronic Technology, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Multisensor information fusion refers to any procedure where different sources of sensory data in the integration process are combined into one representational format. Using the concept of confidence distance estimation, the measured errors of sensors are tested and the support relations among sensors are described. Whether the data of sensors are used are decided. One optimal fusion algorithm is presented, which is proved to be effective.

Key words sensor; information fusion; confidencedistance; optimization; algorithm

编辑 黄 辛