

文章编号: 1000-6893(2004)02-0176-04

信息融合图像识别算法及其 在三维飞机图像识别中的应用研究

程咏梅, 潘 泉, 张洪才, 王 刚

(西北工业大学 自动控制系, 陕西 西安 710072)

Information Fusion Image Recognition Algorithm and Applications in Three Dimension Airplane Image Recognition

CHENG Yong-mei, PAN Quan, ZHANG Hong-cai, Wang Gang

(Department of Automatic Control, Northwestern Polytechnical University, Xi an 710072, China)

摘 要: 将 D-S 证据推理与不变矩理论相结合, 提出了信息融合图像识别算法, 并应用于三维飞机图像的识别。构造了基本置信指派函数, 建立了分类规则, 针对 Dempster 组合规则只适用于高置信度、低冲突性的情况, 应用可解决证据冲突的加权分配冲突法及吸收法, 完成了三维飞机图像识别的仿真, 比较了 3 种组合规则的识别效果, 结果表明吸收法识别率最高。

关键词: D-S 证据推理; 不变矩; 信息融合图像识别算法; 三维飞机图像的识别; 组合规则

中图分类号: V243 **文献标识码:** A

Abstract: By combining Dempster-Shafer evidence reasoning with invariant moment theory, an information fusion image recognition algorithm is presented, and the algorithm is applied to three dimension airplane image recognition. A basic belief assignment function is constructed, and a classifying rule is built. In order to solve the problem in which Dempster combination rule is used only in case of high belief degree and low conflict, the weighed distribution conflict and the absorptive method are used for solving evidence conflict. The result of three dimension airplane image recognition simulation indicates that the absorptive method has the highest recognition efficiency in three combination rule.

Key words: Dempster-Shafer evidence reasoning; invariant moment; information fusion image recognition algorithm; three dimension airplane image recognition; combination rule

飞机在不断运动的同时, 其姿态也在不断变化, 从而不同姿态的图像千差万别, 使得在三维空间中进行飞机图像目标识别的难度大大增加。

不变矩用于图像目标识别的传统方法是最近邻法^[1~5]。这种方法一个明显的缺点是, 它仅仅根据一幅图像就得到了识别结果, 这样在三维目标识别中的识别率会明显下降。主要原因是: 大多数三维物体相对于图像传感器的姿态千差万别, 例如飞机, 如果所得到的图像为侧视图, 因为各种飞机的侧视图都非常相似, 则一定不容易识别, 显然, 这使数据的获取出现了不确定性。

不变矩用于三维图像识别^[6], 通常采用以观察者为中心的表达式, 三维物体可由多个显著的二维视图建模, 该二维视图的集合可通过物体在每一位置的成像获得, 这就允许独立地处理每一个视图, 从而将三维图像目标识别的问题化解

为二维问题。但是这种方法存在的问题是: 图像识别的正确性依赖于建库的完整性, 而此条件往往实现起来比较困难。显然, 这使得数据的获取出现了不完全性。

D-S 证据推理理论可以处理那些具有不完全、不确定、不清晰的信息或数据^[7~12], 为解决上述问题提供了全新的思路。本文将 D-S 证据推理与不变矩理论相结合, 提出信息融合图像识别算法, 利用目标及库中图像的不变矩构造多个证据, 通过合成这些证据来识别目标。

1 D-S 证据推理的两种新组合规则^[7~10]

由 D-S 证据推理可知^[7~10]: 2 个或多个置信函数可以用 Dempster 组合规则来组合, 通过计算基于不同来源置信度的正交和, 从而找到一个新的置信函数。假定辨识框架 Ω 上性质不同的 2 个证据 B 和 C , 其焦点元分别为 B_i 和 C_j ($i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, l$), 基本置信指派函数分别为 m_1 和 m_2 , 按照 Dempster 规则组合

收稿日期: 2003-08-27; 修订日期: 2004-01-15

基金项目: 国家自然科学基金 (60372085)、航空科学基金 (99D53041) 和陕西省自然科学基金 (2000X17) 资助项目

$$m(A) = K^{-1} \{ \begin{matrix} m_1(B_i) m_2(C_j) / B_i & C_j = A \\ A & \emptyset & A \subseteq \end{matrix} \quad (1)$$

$$m(\emptyset) = 0 \quad (2)$$

其中:

$$K = \{ m_1(B_i) m_2(C_j) / B_i \quad C_j = \emptyset \} = 1 - \{ m_1(B_i) m_2(C_j) / B_i \quad C_j = \emptyset \} \quad (3)$$

为归一化因子。由上面的新基本置信指派可以得到新证据体。

当证据之间所支持命题不一致性时,就产生了证据“冲突”问题。证据理论用于数据融合的目的就是使组合后的置信指派函数向辨识框架中更小的子集移动,使某个命题的结论更加明朗。但是它无法处理证据不一致的极限情况。

文献[9~10]在系统分析了已有方法的不足后,认为问题的关键在于组合规则对冲突的处理不当。如式(1)~式(3)所示,Dempster 规则为了保持基本置信指派函数的归一性,在处理矛盾因子时,使 2 个证据的公共焦元的基本置信指派变为原来的 1/ K,这意味着把局部的冲突放在全局中去分配,但冲突指派并非所有焦元共同造成的,也并非基本置信指派大的公共焦元产生冲突的可能性大,这样分配会带来不合理性。根据此分析,提出了加权分配冲突法和吸收法。

加权分配冲突法^[9]:假定识别框架 Ω 上性质不同的 2 个证据 B 和 C,其焦元分别为 B_i 和 C_j ($i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, l$),对应的基本置信指派函数分别为 m_1 和 m_2 ,则加权分配冲突法的组合规则为

$$m(A) = \begin{matrix} m_1(B_i) m_2(C_j) + \\ B_i \quad C_j = A \\ [w m_1(A) m_2(C_j) + \\ A \quad B_i = \emptyset, A \quad C_j = \emptyset; \\ (1 - w) m_1(B_i) m_2(A)] \end{matrix} \quad (4)$$

比例系数 w 可以用两传感器数据可靠程度的比值来定义,也可以用文献[11]提出的鲁棒性分析中鲁棒范围来确定。

修正的吸收法:吸收法^[10]在表述上不够完善,本文对表述形式进行了修正,并没有改变该方法的实质内容。

假设同上,吸收法的组合规则为

$$m(A) = \begin{matrix} m_1(B_i) m_2(C_j) + \\ B_i \quad C_j = A \\ m_1(A) m_2(C_j) + \\ A \quad C_j = \emptyset, m_1(A) > m_2(C_j) + L \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} m_1(B_i) m_2(A) + \\ B_i \quad A = \emptyset, m_1(B_i) < m_2(A) - L \\ m_1(A) m_2(C_j) / 2 + \\ A \quad C_j = \emptyset, / m_1(A) - m_2(C_j) / L \\ m_1(B_i) m_2(A) / 2 \end{matrix} \quad (5)$$

其中: L 表示指派值的一个限度,当两证据置信指派差在这个限度范围内,认为两证据对冲突的产生起同样的作用,所以冲突置信指派值应均分给两焦元。反之,若置信指派差超过这个范围,则把冲突置信指派分配给具有较大置信指派值的焦元,即大的置信指派吸收了小的置信指派,这就是“吸收法”的含义。

2 三维飞机图像目标识别

(1) 基本置信指派函数的构造

选取飞机的类型作为识别框架,即若有 n 类飞机 F_1, \dots, F_n ,则 $\Omega = \{ F_1, \dots, F_n \}$ 。首先建立这 n 类飞机的模型库,即将飞机的某个姿态的图像通过二值化,边缘提取,然后求取离散矩特征^[5~6],一组矩特征就对应着一类飞机。当目标图像到来时,同样要二值化,边缘提取,而后提取矩特征。应用证据理论的困难就在于如何将目标的矩特征和库中各矩特征转换为可以进行推理的基本置信指派函数。

由模式识别的知识可知,两个模式 x 与 y 相似,就是说 x 与 y 的特征差不多。设 x 与 y 所包含的特征有 m 个,即

$$x = [x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_m]$$

$$y = [y_1 \quad y_2 \quad \dots \quad y_m]$$

则定义 x 与 y 的欧氏距离

$$d = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_m - y_m)^2} \quad (6)$$

研究表明,从距离函数 d 到基本置信指派函数的映射,即: $R [0, 1]$ 映射,是一个非线性映射过程。总的趋势是:某类飞机的欧氏距离越小,分配给该类命题的指派越接近 1,特别地,当距离为 0 时分配给该类命题的指派等于 1;反之,则分配给该类命题的指派越接近 0。因此,需要找到一种函数可以反映这种非线性映射关系,实现从目标识别问题向证据推理问题的转化。指数函数就是具有这种关系的一种函数。设 $r = \exp(-d)$,则当 $d \in (-\infty, 0]$ 时, $r \in [0, 1]$ 。根据这一性质,就可以构造基本置信指派函数了。

基本置信指派的构造:根据距离函数,定义证据 i 对目标 F_j 的基本置信指派

$$m_i(F_j) = (1 - \alpha) \exp(-d_{ij}) \quad (7)$$

其中: α 为噪声系数。当无噪声时, $\alpha = 0$; 当噪声完全淹没了目标时, $\alpha = 1$ 。

不确定性置信指派的构造:考虑到无噪声时,认为没有不确定性, $m(\cdot) = 0$; 当噪声完全淹没了目标时,从传感器来的数据无法确认任何目标,即完全不确定, $m(\cdot) = 1$ 。所以不确定性置信指派构造如下

$$m_i(\cdot) = \prod_{j=1}^N (1 - m_i(F_j)) \quad (8)$$

其中: N 表示库中飞机的类型数。

然后对上述基本置信指派进行归一化处理,以满足其定义的要求。

(2) 分类规则

融合后,如何得到识别结果,即对基本置信指派函数的分析与决策没有统一的一般性方法,必须根据具体的问题选择不同的方法。通常以信任度 $f(A)^{[8-9]}$ 作为分类准则。由于本文的所有命题都是单假设集,所得的置信函数与基本置信指派函数相等,故采用基于规则的方法。通过对基本置信指派函数概率意义的分析,确定了以下4条规则:

规则1:目标类别应具有最大的基本置信指派值,表示具有最大信任函数值的类是目标类;

规则2:目标类别的基本置信指派值与其他类别的基本置信指派值的差值必须大于某一阈值 T_1 ,表示每一证据对所有不同类的支持程度应保持足够大的差异;

规则3:不确定性置信指派值必须小于某一阈值 T_2 ,表示对目标类的无知程度或证据的不确定度不能太大;

规则4:目标类别的基本置信指派值必须大于不确定性置信指派值,表示当对某一目标知之甚少时,不能对其进行分类。

(3) 三维飞机图像识别的仿真实验

首先,采用 CCD 摄像机摄取了9类飞机模型的真彩图,其分辨率为 795×596 。其次,利用图像处理软件 Adobe Photoshop 将它们转换为 312×232 的灰度图像并进行了二值化处理,最后,利用梯度边缘检测算法实现图像的边缘检测,这样,对飞机图像的识别仅仅变为对图像的边缘形状识别。9类飞机模型分别为表1所示。

库图像和测试图像的选取:取9类飞机,每一

表1 9类飞机的识别结果

Table 1 Recognition results of 9 types of airplanes

飞机类型	10次识别的正确数		
	Dempster 组合规则	加权分配冲 突法 ($w = 0.8$)	吸收法
1. 幻影 2000	9	9	9
2. S-27	7	7	7
3. F-14	8	6	9
4. 一种德国机	9	6	9
5. F-15	7	6	8
6. MIG31	10	8	10
7. F-4	7	4	9
8. 预警机 E-20	7	3	9
9. F-16	9	9	9
识别率	81.1%	64.4%	87.8%

类选20幅图像,其中10幅作为模型库,另10幅作为测试库,且不考虑噪声,由于篇幅所限,给出9类飞机的部分姿态图像如图1所示,二值化图像和边缘检测图像省略。提取矩特征^[5,6],作为模板存储在类型库中。从传感器来了一个图像目标,先提取矩特征,应用式(6)计算与库中各模板的距离函数,然后,应用式(7)、式(8)通过非线性映射函数(取指数函数)将距离函数转换为证据空间下的基本置信指派函数及不确定性置信指派函数。最后用3种组合规则,即 Dempster 组合规则、加权分配冲突法、吸收法进行融合。由于飞机类型较多,为了使置信指派不至于太分散而得不到结果,本实验在进行合成前均用 Tessem 提出的

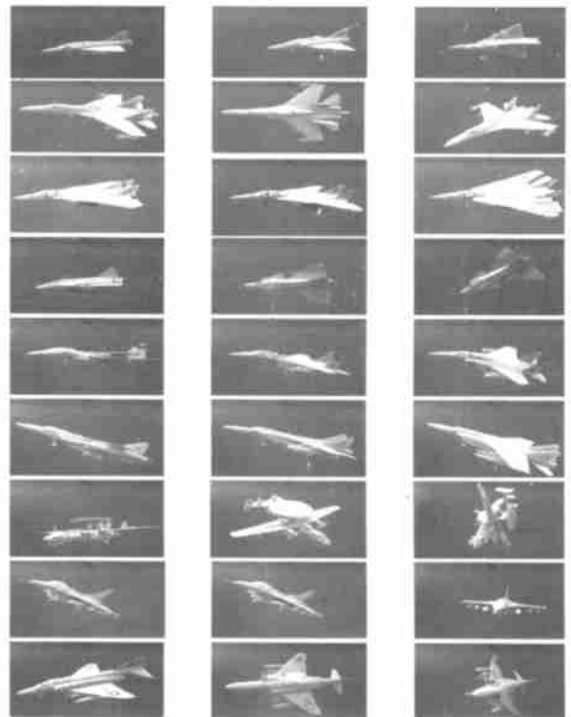


图1 9种飞机模型部分(3种)姿态图

Fig. 1 3 attitude images of 9 types of airplanes

(k, l, x) 法^[12]对基本置信指派函数进行了删减。在决策中,利用本文提出的分类规则,且选取 $T_1 = 0.2, T_2 = 0.5$ 。从而得出识别结果如表 1 所示。

表 1 中数字表示识别 10 次不同姿态的同一目标,正确识别目标的次数,每种算法识别率定义如下

$$\text{识别率} = \frac{\text{正确识别目标的次数}}{\text{识别目标的总次数}}$$

从识别的结果来看,吸收法具有良好的性质,比 Dempster 规则和加权法更有效;识别中加权法效果的好坏和 w 的选取有关。

3 结 论

由于证据推理是一种信息融合方法。信息融合的基本思想就是充分运用多源信息提供的冗余信息,从而使得到的结果更为可靠。从三维飞机图像识别仿真实验可以看出,证据推理法与不变矩理论相结合对三维飞机图像识别,由于利用了库中 10 幅图像矩特征提供的多种信息进行信息融合处理,从而是有效的,特别是吸收法识别效果最好。

参 考 文 献

- [1] Ramaswamy, Karthik, Agarwal, *et al.* Data fusion and evidence accumulation for landmine detection using Dempster-Shafer algorithm[J]. Proceedings of SOIE-International Society for Optical Engineering, 2000, 4038(2):865 - 876.
- [2] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariant[J]. IRE Trans Information Theory, 1962, 1(8):179 - 187.
- [3] Wong R Y. Scene matching with invariant moments[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1978, 8(1):16 - 24.
- [4] Dudani S A, *et al.* Aircraft identification by moment invariants[J]. IEEE Trans, 1977, C26(1):39 - 45.
- [5] 潘泉,程咏梅,杜亚娟,等. 离散不变矩算法及其在目标识别中的应用[J]. 电子与信息学报, 2001, 23(1):30 - 36. (Pang Q, Cheng Y M, Du Y J, *et al.* Discrete moment invariant algorithm and its application on target recognition[J]. Journal of Electronics and Information Technology. 2001, 23(1):30 - 36.)

- [6] 杜亚娟,张洪才,潘泉. 基于矩特征的三维飞机目标识别[J]. 数据采集与处理, 2000, 15(3):390 - 394. (Du Y J, Zhang H C, Pang Q. Three-dimensional aircraft recognition using moments[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2000, 15(3):390 - 394.)
- [7] Dempster A P. Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping [J]. Ann Mathematical statistics, 1967, 38: 325 - 339.
- [8] Shafer G. A mathematical theory of evidence[M]. Princeton U. P., Princeton, N.J., 1976.
- [9] 张山鹰,潘泉,张洪才. 证据推理冲突问题研究[J]. 航空学报, 2001, 22(4):369 - 372. (Zhang S Y, Pang Q, Zhang H C. Conflict problem of Dempster-Shafer evidence theory[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica. 2001, 22(4):369 - 372.)
- [10] 张山鹰,潘泉,张洪才. 一种新的证据推理组合规则[J]. 控制与决策, 2000, 15(5):540 - 544. (Zhang S Y, Pang Q, Zhang H C. A new kind of combination rule of evidence theory[J]. Control and Decision. 2000, 15(5):540 - 544.)
- [11] 潘泉,张山鹰,程咏梅,等. 证据推理的鲁棒性研究[J]. 自动化学报. 2001, 27(6):798 - 805. (Pang Q, Zhang S Y, Cheng Y M, *et al.* Some research on robustness of evidence theory[J]. Acta Automatica Sinica, 2001, 27(6):798 - 805.)
- [12] Tessem B. Approximations for efficient computation in the theory of evidence[J]. Artificial Intelligence, 1993, 61(2):315 - 329.

作者简介:



程咏梅(1960 -) 女(陕西,西安),西北工业大学自动控制系副教授,博士,2001 年博士毕业于西北工业大学自动控制系。主要从事人工智能,信息融合,图像识别,数字信号处理,复杂环境下机动运动目标建模,数据关联,主动及被动式跟踪等。Email: cymgirl@163.net. 联系电话:(029) 88494352(O), (029) 88491509(H)



潘泉(1961 -) 男(上海),西北工业大学自动控制系教授,博士,1997 年博士毕业于西北工业大学自动控制系,主要从事动态系统建模,估计与控制,信息融合,图像处理、识别,多目标跟踪等。Email: quanpan@nwpu.edu.cn 联系电话:(029) 88494352(O), (029) 88493062(O)

(责任编辑:俞 敏)