

文章编号:1001-5078(2009)06-0655-05

· 图像与信号处理 ·

基于模糊积分的可信度融合目标检测

熊大容¹, 杨 烜²

(1. 深圳大学计算机与软件学院, 广东 深圳 518060; 2. 深圳大学信息工程学院, 广东 深圳 518060)

摘要:针对可见光和红外热图像序列中的远距离目标检测问题,提出了一种基于模糊积分的可信度融合的目标检测方法。该方法通过帧间差累积,在两种传感器的图像中确定了运动目标区域,根据目标区域的强度分析,定义了目标可信度量,进而利用模糊积分融合函数进行可信度融合以实现目标检测。试验结果表明模糊积分分类效果较好,从而证明了该方法在目标识别中的可靠性和可信度,具有一定的实用性。

关键词:可见光图像序列;红外图像序列;模糊积分;可信度融合

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A

Confidence fusion targets detection based on fuzzy integral

XIONG Da-rong¹, YANG Xuan²

(1. School of Computer & Software Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;
2. College of Information Engineer, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: Aiming at long distance targets detection problem in visual and thermal infrared image sequences, a confidence fusion detection method based on fuzzy integral. The method acquires the moving targets area by frame difference accumulation in two sensor image sequences, and we defined the target reliable measurement by the intensity analysis of the moving target area. The detection results are acquired by confidence fusion using the fuzzy integral fusion function. The experimental results show that fuzzy classification effectiveness better in order to illustrate that this approach to detect the target is reliable and robust.

Key words: visual image sequences; thermal infrared image sequences; fuzzy integral; confidence fusion

1 引言

随着军事领域技术的发展,对自动目标检测识别技术的要求也越来越高,而目标检测技术,尤其是远距离运动目标检测技术在自动目标检测识别中占有非常重要的地位,因为整个检测识别系统的性能在很大程度上依赖于目标检测的结果。目前国内外目标检测进行了多方面研究,其方法^[1-4]是通过利用多传感器图像融合实现目标识别,更大程度地收集和整理目标和环境的信息量,从而提高识别系统的准确性和可靠性。在一个多传感器目标识别系统中,如何表示被融合信息的可信度,以及把这些可信度有效地融入系统,是确保识别系统具有较高的识别率和容错性的关键。

模糊积分可信度融合的方法是运用模糊集合的知识,通过综合考虑客观证据与人的主观评判,将主客观之间的信息进行最佳的匹配,由此获得问题的最优解。模糊积分值实际上表明了目标对象在每个图像特征的信任程度和各特征权重的相容程度,模糊积分值越大说明目标对象同特征之间的关系越接近。正因为如此,可以利用模糊积分^[5-7]来融合多传感器图像信息,待识别的目标就是模糊积分值最大的那一类。本文采用了基于模糊积分的可信度融

基金项目:深圳市科技计划项目资助。

作者简介:熊大容(1982-),女,助教,硕士,主要从事图像处理,图像融合方面的研究。E-mail:xiangsiying2004@126.com

收稿日期:2008-11-17

合目标检测方法。根据运动区域的强度分析,定义了目标可信度度量,进而利用模糊积分融合函数进行可信度融合以实现目标检测。

2 基本概念

所谓模糊积分^[8]是建立在模糊测度上的概念。而模糊测度考虑的是一个位置未定的元素从属于一个(模糊或非模糊)集合的信任程度、可能性程度或概率程度。模糊积分是定义在模糊测度基础上的一种非线性函数,具有融合多元信息的能力。

定义1 设 X 为论域, h 是从 X 到 $[0,1]$ 的可测函数, $A \in P(X)$, 则 h 关于模糊测度 g 在集 A 上的 Sugeno 模糊积分定义为:

$$S = \int_A [h(X) \circ g(\cdot)] \sup_{\alpha \in [0,1]} \min[\alpha, g(A \cap H_\alpha)] \quad (1)$$

其中, $H_\alpha = \{x | h(x) \geq \alpha\}$; $P(X)$ 是 X 的幂集; $g(\cdot)$ 是满足下面定义2的模糊测度。模糊积分值 S 是 $h(x)$ 的模糊均值,同概率论中的均值相类似,也称之为“积分”。利用模糊积分进行度量时,模糊积分可以表征重视程度。

定义2 设 g 是从 $P(X)$ 到 $[0,1]$ 的映射,如果 g 满足:

$$(1) g(\emptyset) = 0, g(X) = 1;$$

(2) $\forall A, B \in P(X)$, 若 $A \subseteq B$, 则有 $g(A) \leq g(B)$;

(3) 如果 $\forall A_i \in P(X)$, 且 $\{A_i\}_{i=1}^\infty$ 是单调的, 即满足 $A_1 \subseteq A_2 \subseteq \dots \subseteq A_n \subseteq \dots$ 或 $A_1 \supseteq A_2 \supseteq \dots \supseteq A_n \supseteq \dots$ 则有: $\lim_{i \rightarrow \infty} g(A_i) = g(\lim_{i \rightarrow \infty} A_i)$

则称 g 是 $P(X)$ 上的一个模糊测度。

模糊测度与经典的概率测度的区别是前者将概率测度中的可加性减弱为单调性。模糊测度主要研究的是论域 X 中某元素 x 属于 X 中一个子集 A 的程度。如果子集 A 是空集, 则元素 x 属于子集 A 的可能性为0; 如果子集 A 是集合 X , 则元素 x 属于子集 A 的可能性为1; 元素 x 属于子集 A 的可能性小于属于子集 A 的超集的可能性。模糊测度表达了人们主观猜测 x 属于 A 的情况, 是对于“ $x \in A$ ”的一种评价。

利用以上模糊测度的定义, Sugeno 引入了 λ 模糊测度 g_λ , 其定义如下:

定义3 $(X, P(X))$ 为可测空间, $g_\lambda: P(X) \rightarrow [0,1]$ 满足条件:

$$(1) g_\lambda(X) = 1;$$

(2) 若 $A, B \in P(X)$, 且 $A \cap B = \emptyset$, 则:

$$g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda g_\lambda(A) g_\lambda(B)$$

(3) 如果 $\forall A_i \in P(X)$, $\{A_i\}_{i=1}^\infty$ 是单调的, 且 $\lim_{i \rightarrow \infty} A_i = A \Rightarrow \lim_{i \rightarrow \infty} g_\lambda(A_i) = g_\lambda(A)$, 则称 g_λ 为 $P(X)$ 上的 g_λ 测度。

命题1 $(X, P(X))$ 为可测空间, g_λ 为 $P(X)$ 上的 g_λ 测度, $A_i \in P(X)$, 且 $i \neq j$ 时, $A_i \cap A_j = \emptyset$, 则:

$$\lambda \neq 0 \text{ 时, } g_\lambda(\cup_i A_i) = \frac{1}{\lambda} [\prod_i (1 + \lambda g_\lambda(A_i)) - 1]$$

$$\lambda = 0 \text{ 时, } g_\lambda(\cup_i A_i) = \sum_i g_\lambda(A_i)$$

$\lambda > -1$ 时, g_λ 测度是模糊测度。

在模糊积分^[7]中关键是模糊测度 g_λ 的定义, 可以采用 g_λ 测度, 在 $\lambda = 0$ 时, 只要确定了单点集(单因素集) $\{x_i\}$ 的 g_λ 模糊测度 $g_\lambda\{x_i\}$, 则可以得到任意 $A \subset X$ 的测度。例如对红外和可见光图像融合的评价问题, 论域 $X = \{x_1, x_2\}$, 评价的因素有两个, x_1 红外图像, $x_2 =$ 可见光图像。重视度为 $g_\lambda(x_1)$, $g_\lambda(x_2)$, 简单表示为 g_1, g_2 , 且 $g(X) = g_1 + g_2 = 1$ 。 $h(x)$ 表示红外和可见光图像融合后图像的相关函数。论域 X 相应的评价指标为 $h(x_1) = h_{SP}$, $h(x_2) = h_{HF}$, 简单表示为 h_1, h_2 。按照模糊积分的定义, 可以得到 $g(\{x_1\}) = g_1, g(\{x_2\}) = g_2, g(\{x_1, x_2\}) = g(\{x_1\}) + g(\{x_2\}) = 1$ 可以推导出:

$$S = \int_X [h(X) \circ g(\cdot)] \sup_{\alpha \in [0,1]} \min[\alpha, g(X \cap H_\alpha)] = \sup_{\alpha \in [0,1]} \min[\alpha, g(H_\alpha)] \quad (2)$$

根据 $h(x_1)$ 和 $h(x_2)$ 的大小, 对 x_1 和 x_2 排序, 按排序的位置记为 u_1 和 u_2 。令 $H_i = \{u_i, u_2\}, i = 1, 2$, 则 $H_1 = \{u_1, u_2\}, H_2 = \{u_2\}$ 。相应地, $g(H_1) = 1, g(H_2) = g(\{u_2\})$ 。则模糊积分可表示为 $S = \sup\{\min[h(x_1), g(H_1)], \min[h(x_2), g(H_2)]\}$ 。

当 $h_1 > h_2$ 时, x_1 和 x_2 从小到大排序位置为 $u_1 = x_2, u_2 = x_1$, 相应 $h(u_1) = h_2, g(H_1) = 1, h(u_2) = h_1, g(H_2) = g(\{u_2\}) = g(\{x_1\}) = g_1$, 则模糊积分 $S = \max(h_1 g_1, h_2)$ 。

当 $h_1 < h_2$ 时, x_1 和 x_2 从小到大排序位置为 $u_1 = x_1, u_2 = x_2$, 相应地 $h(u_1) = h_1, g(H_1) = 1, h(u_2) = h_2, g(H_2) = g(\{u_2\}) = g(\{x_2\}) = g_2$, 则模糊积分 $S = \max(h_1, h_2 g_2)$ 。

以上可以简单表示为:

$$\text{当 } h_1 > h_2 \text{ 时, } S = \int [h(x) \circ g(x) = \max(h_1 g_1, h_2)] \quad (3)$$

$$\text{当 } h_1 < h_2 \text{ 时, } S = \int [h(x) \circ g(x) = \max(h_1, h_2 g_2)] \quad (4)$$

当 $h_1 = h_2$ 时, S 可取上面两个值中的任意一个。

3 运动区域的目标可信度定义

利用模糊积分进行目标检测,首先要解决目标的可信度度量。如果摄像机相对于目标是运动的,先进行帧间配准,然后作帧间差运算。由于一幅帧间差图像中目标存在空洞效应,要对多帧帧间差进行累积,以清除空洞效应。在累积图像上进行简单的阈值分割,确定运动区域。这样得到的运动区域中会产生非运动目标的噪声,可以通过开操作和连通分量把大部分噪声去掉。

对红外图像来说,在目标运动区域上目标亮度高于周围背景亮度,目标点的灰度值与目标区域灰度均值差值为正数,其差值越大是目标的可能性越大,因此采用S型函数对目标区域每一个像素点进行度量。

$$h(f(x,y) \in S_f) = (1 + e^{-(f(x,y) - \mu_f(x,y))})^{-1} \quad (5)$$

其中, S_f 为红外热图像中检测到的目标区域, $\mu_f(x,y)$ 为运动区域的灰度均值。其可信度变化趋势如图1所示。

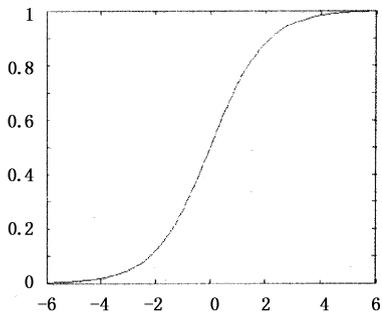


图1 $y = (1 + e^{-x})^{-1}$ 函数图像

在可见光图像中,不能用简单的运动区域均值作为目标均值,因为背景可能和目标差异较大。所以,我们首先在运动区域中作一个局部分割,得到一个大致的目标,但这个目标可能有噪声和错分情况,我们取这个区域的均值作为目标均值 $\mu_v(x,y)$ 。可见光图像中的目标可信度度量定义为^[9]:

$$h(v(x,y) \in s_v) = e^{-(v(x,y) - \mu_v(x,y))^2} \quad (6)$$

其中, s_v 为可见光图像中检测到的目标区域,其可信度变化趋势如图2所示。

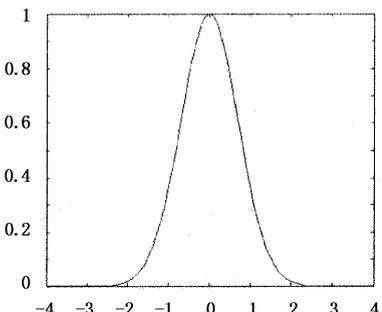


图2 $y = e^{-x^2}$ 函数图像

经过可信度对目标区域强度进行度量后,采用模糊积分对红外和可见光两种传感器度量图像进行融合。

4 模糊积分可信度融合与目标检测

下面用模糊积分的可信度融合方法进行研究,两种传感器可信度值可以看作两组特征,其中每组特征均可用目标检测,其效果类似于一个分类器。

当利用模糊积分进行融合时,各个传感器的重要程度 g_i 要求给出,它反映了传感器 i 对目标进行识别时的重要程度。模糊密度值由专家主观确定,也可由具体数据给出。在实验中,各传感器的分类成功率被当作其模糊测度值。根据式(3)和式(4)得出两种传感器模糊积分可信度融合公式:

$$\text{当 } h_f > h_v \text{ 时, Fusion} = \int h(x) \circ g(x) = \max(h_f g_1, h_v) \quad (7)$$

$$\text{当 } h_f < h_v \text{ 时, Fusion} = \int h(x) \circ g(x) = \max(h_f, h_v g_2) \quad (8)$$

式中, h_f 为红外图像可信度值; h_v 为可见光图像可信度值; g_1 和 g_2 为模糊测度; Fusion 为最终目标检测灰度值。然后将 Fusion 用一个硬判决,得到最终检测目标。

加权求和法也是一种常用的可信度融合函数。令 $h_1 = h_f, h_2 = h_v$, 模糊积分检测结果值 S , 加权求和的检测结果值 M , 其定义如下^[7]:

$$M = h_1 g_1 + h_2 g_2 \quad (9)$$

在融合构造函数中我们选择了模糊积分函数,而没有选择加权求和函数,这是由于模糊积分函数是非线性函数,它判决结果更符合人们对事物判决的一般习惯。

5 实验结果及其讨论

5.1 实验 I

实验数据是摄像头相对目标运动的一段红外和可见光图像序列,由于是慢速运动目标,相邻图像间相隔采集的是5帧。图3(a)表示了其中的一帧红外图像序列,图3(b)表示了其中一帧可见光图像序列。



(a) 红外灰度图像 (b) 可见光灰度图像

图3 两种传感器灰度图像

红外和可见光图像分别通过差分累积后的灰度图像,可知运动目标区域亮度值比背景区域要大,通过阈值分割得到各自的运动区域。

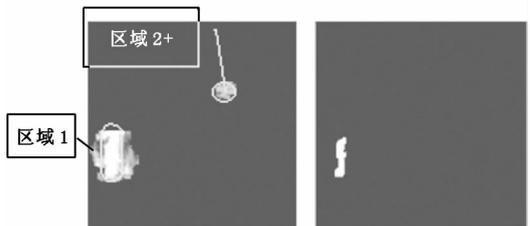
图4(a)和图4(b)是红外和可见光两种传感器根据各自所得到的目标区域,分别取其单帧灰度图像,通过式(5)和式(6)进行可信度度量得到度量图像。



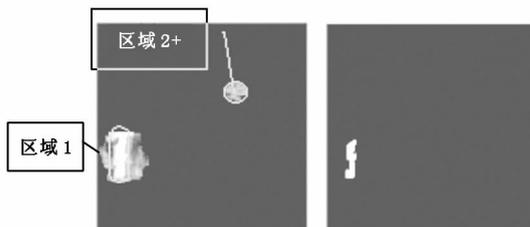
(a) 红外可信度图像 (b) 可见光可信度图像

图4 红外和可见光可信度量度图像

图5(a)是红外和可见光度量图像经过加权求和融合后的图像;图5(b)是图5(a)经过判决后得到最终检测的目标。图5(c)是红外和可见光度量图像经过模糊积分融合后的图像,这里模糊测度与加权求和模糊测度都为 $g_1 = 0.4, g_2 = 0.6$;图5(d)是图5(c)经过判决后的图像,也就是最终检测的目标。



(a) 加权求和融合图像 (b) 加权求和最终融合结果



(c) 模糊积分融合图像 (d) 最终融合检测结果

图5 红外和可见光融合图像和相应检测结果

根据实验检测结果进行分析,在图4(a)和图4(b)相对应区域1和区域2上分别取两个特征点(如表1所示),可以看出在区域1上点的加权求和融合值和模糊积分融合值较在区域2上点的值差越大,说明区域1上点是目标可能性越大。同时也说明模糊积分和加权求和融合都可以把在单传感器上

| 点所在区域 | 红外 h_f | 可见光 h_v | 加权求和融合值 | 模糊积分融合值 |
|-------|----------|-----------|---------|---------|
| 区域1 | 1 | 0.97878 | 0.99151 | 0.97878 |
| 区域2 | 0 | 0.96592 | 0.38637 | 0.38637 |

可信度值较大,在另一个传感器对应可信度值较小这样的非目标点去掉。

5.2 实验 II

摄像头相对目标是静止的,也是一段红外和可见光的图像序列,相邻之间图像间隔也是采用5帧,图6(a)表示了其中的一帧红外图像序列,图6(b)表示了其中一帧可见光图像序列。



(a) 红外灰度图像 (b) 可见光灰度图像

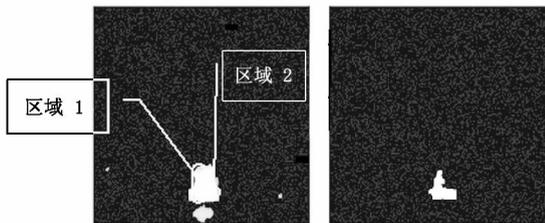
图6 两种传感器灰度图像

图7(a)和图7(b)是红外和可见光两种传感器根据各自所得到的目标区域,分别取其单帧灰度图像通过公式(5)和式(6)进行可信度度量后的图像;图8(a)是红外和可见光度量图像经过加权求和融合后的图像;图8(b)是图8(a)经过判决后得到最终检测的目标。图8(c)是红外和可见光经过模糊积分融合后的图像,这里模糊测度与加权求和模糊测度都为 $g_1 = 0.6, g_2 = 0.4$;图8(d)是图8(c)经过判决后最终检测的目标。

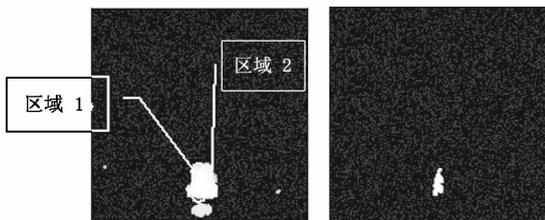


(a) 红外可信度图像 (b) 可见光可信度图像

图7 红外和可见光可信度量度图像



(a) 加权求和融合图像 (b) 加权求和最终融合结果



(c) 模糊积分融合图像 (d) 最终融合检测结果

图8 红外和可见光融合图像和相应检测结果

根据实验检测 II 结果进行分析,在红外和可见光可信度图像中目标点的可信度值与周围背景区域可信度值比较接近时,在图 7(a)和 7(b)相对应区域 1 和区域 2 上分别取两个特征点(如表 2 所示),通过加权求和融合得到图像图 8(a)中区域 1 点的值与区域 2 点的值比较相近,很难通过适当的阈值把目标完整的分割出来;而通过模糊积分融合得到图 8(c)中区域 1 点的值与区域 2 的值差异较大,很容易区分得到检测目标。从而可以看出通过模糊积分检测结果比通过加权求和方法检测结果效果要好,不存在多余冗余信息,更符合人对图像融合主观感受。

表 2 不同区域融合图像模糊积分值和加权求和值

| 点所在区域 | 红外 h_f | 可见光 h_v | 加权求和融合值 | 模糊积分融合值 |
|-------|----------|-----------|---------|---------|
| 区域 1 | 0.97174 | 0.99363 | 0.98488 | 0.97174 |
| 区域 2 | 0.6647 | 0.94713 | 0.83416 | 0.6647 |

6 结 论

针对可见光和红外成像系统中目标检测问题,采用了一种基于模糊积分的可信度融合目标检测算法。在不同传感器图像序列中,根据目标区域的强度分析,定义了目标可信度量,进而利用模糊积分融合函数进行可信度融合以实现目标检测。试验结

果表明模糊积分分类效果较好,从而证明了该方法在目标识别中的可靠性和可信度,具有一定的实用性。

参考文献:

- [1] 高继镇,刘以安. 基于小波系数模糊积分的图像融合算法研究[J]. 计算机应用,2008,28(7):1753-1755.
- [2] 李秋华,李吉成,沈振康. 基于多尺度特征融合的红外图像小目标检测[J]. 系统工程与电子技术,2005,27(9):1557-1560.
- [3] 李秋华,李吉成,沈振康. 基于 D-S 证据理论的红外小目标融合检测方法[J]. 系统工程与电子技术,2006,28(1):26-30.
- [4] 刘澎,姚钦. 可信度估计在目标识别融合系统中的应用[J]. 探测与控制学报,2007,29(1):28-35.
- [5] 梁继民,杨万海,蔡希尧. 决策融合的模糊积分方法[J]. 西安电子科技大学学报,1998,25(2):250-253.
- [6] 李保洲,邓雁萍,李介谷. 基于模糊积分的信息融合研究[J]. 红外与激光工程,1999,28(4):60-63.
- [7] 杨炬,裴继红,杨万海. 基于模糊积分的融合图像评价方法[J]. 计算机学报,2001,24(8):815-818.
- [8] 哈明虎,吴从焱. 模糊测度与模糊积分理论[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [9] Ju Han, Bir Bhanu. Detecting moving humans using color and infrared video[J]. IEEE Conference on Multi-sensor Fusion and Intergration Systems, 2003:228-233.