

文章编号:2095-0411(2015)03-0066-04

基于自适应加权二部图的多特征目标匹配

杨彪^{1,2}, 邹凌^{1,2}, 李文杰^{1,2}, 周天彤^{1,2}

(1.常州大学 信息科学与工程学院,江苏 常州 213164;2.常州市生物医学信息技术重点实验室,江苏 常州 213164)

摘要:目标匹配是在大范围多摄像机监控网络中进行连续目标跟踪的基础,对无重叠视野多摄像机网络中的目标匹配进行研究,提出了一种基于自适应加权二部图的多特征目标匹配算法。考虑到不同摄像机视野下成像角度、光照的差异,采用多特征融合技术构造目标的观测模型,并利用贝叶斯准则将目标匹配问题表示成最大后验概率(MAP)问题。同时,提出一种自适应加权二部图替代 MAP 问题,并利用 Kuhn-Munkres 算法解出二部图的最大权匹配。通过对监控数据进行试验,表明本文算法可在接受的时间范围内改善目标匹配的准确度。

关键词:多特征;目标匹配;自适应加权二部图;Kuhn-Munkres 算法;MAP 问题

中图分类号:U 491 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.2095-0411.2015.03.013

Multi-Features Object Matching Based on Adaptive Weighted Bipartite Graph

YANG Biao^{1,2}, ZOU Ling^{1,2}, LI Wenjie^{1,2}, ZHOU Tiantong^{1,2}

(1.School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China;
2. Changzhou Key Laboratory of Biomedical Information Technology, Changzhou 213164, China)

Abstract: Object matching is the basis for continuous object tracking under wide area monitoring using camera network. This paper focuses on object matching across non-overlapping camera views. A multi-features object matching approach based on adaptive weighted bipartite graph is proposed. Multiple features are employed to construct an observation model due to view variation and illumination change across different camera views. Object matching is then represented as a maximum a posteriori (MAP) problem based the Bayesian rule. Meanwhile, the MAP problem is replaced using an adaptive weighted bipartite graph which is then solved by the Kuhn-Munkres algorithm. Experimental results under realistic camera network indicate that our approach can improve the accuracy of object matching across non-overlapping camera views within an acceptable time.

Key words: multiple features; object matching; adaptive weighted bipartite graph; Kuhn-Munkres algorithm; MAP problem

随着视频监控技术的不断发展,大型公共场所经常采用多摄像机组成网络对场景进行监控。对于

收稿日期:2014-11-24。

基金项目:国家自然科学基金项目(61201096);常州市科技项目(CE20145055);江苏省青蓝工程资助。

作者简介:杨彪(1987—),男,江苏常州人,博士,讲师,主要从事人工智能,图像处理,视频分析研究。通讯联系人:邹凌(1975—),E-mail:zouling@cczu.edu.cn

摄像机网络下的智能监控来说,实现目标的连续跟踪是基础,其关键在于准确匹配不同摄像机视野下的目标。同时,由于普通监控摄像机的分辨率还不能达到准确识别人脸或者车牌的能力,因此很难利用目标的身份信息进行准确的匹配。本文主要考虑无重叠视野多摄像机环境下利用目标的外观进行匹配的问题。

中科院模式识别所的 CAI^[1]采集了目标边缘小块的颜色信息,并通过空间几何约束构造目标的观测模型,从而实现无重叠视野多摄像机环境下的目标匹配。香港大学的 ZHAO^[2]提出了一种显著性特征来构造目标的观测模型,进而进行不同视野下目标的再识别,其中显著性特征是通过提取 SIFT 特征并通过相邻性约束得到的。中央佛罗里达大学的 Javed^[3]利用目标的颜色信息构造外表模型,并且细致深入地给出了外表模型和拓扑关系的估计方法,进而使用二部图匹配的方法计算最大后验概率。国防科技大学的刘少华^[4]在 Javed 的研究工作的基础上,设计了一种基于最小费用流的关联算法,在牺牲一定时间性的前提下改善了二部图匹配方法对效用函数的依赖性。

本文在前人工作的基础上,提出一种基于自适应加权二部图的多特征目标匹配算法。首先,利用目标的颜色特征和纹理特征构造观测模型,从而改善目标观测模型对不同摄像机视野下的光照、视角差异的鲁棒性。其次,将目标匹配问题表示成最大后验概率(MAP)问题,并提出自适应二部图来替代 MAP 问题。最后,利用 Kuhn-Munkres 算法解出二部图的最大权匹配,从而求出目标之间的匹配关系。

1 多特征目标观测模型的建立

1.1 主颜色匹配率

主颜色特征常用来描述目标的外表信息,它易于提取,而且对目标的姿态改变与尺度变化具有较强的鲁棒性。常用的颜色特征包括 RGB 直方图、HSV 直方图^[5]以及主颜色特征。其中,主颜色特征不仅包含目标的 RGB 信息,而且包含了 RGB 各分量之间的关联,具有比 RGB 直方图更强的目标描述能力,因此本文提取目标的主颜色特征来反映其外表信息。

主颜色特征主要是通过聚类的方法得到。文献[6]提出利用 K 均值聚类算法提取主颜色,但是,

K -均值聚类易受初始聚类中心和聚类数目的影响,不易于推广。本文采用分层聚类算法提取主颜色特征,可以自适应地提取若干簇表示目标的主颜色,其中主颜色特征包含该颜色的 R 、 G 、 B 值以及该颜色的像素数目占目标像素数目的比值。当得到待匹配目标的主颜色特征后,利用文献^[6]提出的方法计算主颜色匹配率 P_c 。同时,利用标准化 RGB 值改善光照的影响并利用分块技术添加空间信息。

1.2 空间纹理匹配率

纹理信息通常用来反映目标的细节信息,本文提出空间纹理匹配率的概念,首先根据文献^[7]的方法计算感兴趣区域内的彩色梯度信息,并通过对梯度信息进行分块统计得到空间纹理特征,进而计算空间纹理匹配率。

本文将目标观测值均匀分成 9 个子块,对于每个子块,按照梯度方向的差异统计每个方向下梯度极值大于指定阈值的像素点数目。本文将梯度方向分为 $0 \sim 45$ 、 $45 \sim 90$ 、 $90 \sim 135$ 以及 $135 \sim 180$ 等 4 种,并统计每个方向上的像素点数。对于待匹配的 2 个目标,可以通过计算目标对应的空间纹理直方图的巴氏距离表示其空间纹理匹配率 P_t 。

1.3 多特征目标观测模型

在分别计算得到待匹配目标的主颜色匹配率 P_c 与空间纹理匹配率 P_t 之后,可以利用加权融合方式构造目标的观测模型。假设待匹配目标为 O_1 、 O_2 ,那么本文提出的多特征目标观测模型可以如下定义:

$$p(O_1, O_2) = (1 - \omega)P_c(O_1, O_2) + \omega P_t(O_1, O_2) \quad (1)$$

式中 ω 用来衡量纹理信息对多特征目标观测模型的贡献, ω 大表示纹理信息丰富,本文根据 9 个子块中纹理强度的均值来计算 ω 。

2 目标匹配问题求解

2.1 最大后验概率问题

无重叠视野目标匹配就是通过特定的数据融合算法将目标观测模型与拓扑结构的时空约束融合起来,从而得到准确的目标关联信息。本文在假设摄像机网络拓扑结构的时空约束已知的前提下,利用贝叶斯准则将目标观测模型与拓扑结构的时空约束融合成 MAP 问题,并通过 MAP 问题的求解计算目

标间的匹配关系。

首先,根据文献[7]提出的最小单元概念将监控网络分割成若干最小单元,在每个最小单元中,出现观测值与消失观测值一一对应(不考虑虚警)。假设在某个最小单元内分别检测到消失观测值集合 $O_i = \{O_i^m\}$ 与出现观测值集合 $O_j = \{O_j^n\}$,那么,令 $a_{i,j}^{m,n}$ 表示观测值对 (O_i^m, O_j^n) 匹配,无重叠视野目标匹配问题可以表示为寻找一个关联集合 A ,满足以下条件:

- 1) $a_{i,j}^{m,n} \in A$ 当且仅当 O_i^m 及 O_j^n 属于同一目标;
- 2) 一个观测值至多只有一个前继及一个后继。

在所有观测值已知的情况下,目标匹配问题可以表示为如下 MAP 问题:

$$p(A | O) = \prod_{a_{i,j}^{m,n} \in A} p(a_{i,j}^{m,n} | O_i^m, O_j^n) \prod_{a_{i,j}^{m,n} \in A} \left[\frac{p(O_i^m, O_j^n | a_{i,j}^{m,n}) t(O_i^m, O_j^n | a_{i,j}^{m,n}) p(a_{i,j}^{m,n})}{p(O_i^m, O_j^n)} \right] \quad (2)$$

式中: $p(O_i^m, O_j^n | a_{i,j}^{m,n})$ 表示待匹配目标的多特征观测模型匹配率, $t(O_i^m, O_j^n | a_{i,j}^{m,n})$ 表示时空约束下待匹配目标的匹配率, $p(a_{i,j}^{m,n})$ 表示目标从 V_i 到 V_j 的转移概率, $p(O_i^m, O_j^n)$ 表示常数尺度因子。无重叠视野目标匹配问题的解就是当式(2)取得最大后验概率时的解 A^* :

$$A^* = \operatorname{argmax}_{A \in \Delta} p(A | O) \quad (3)$$

2.2 自适应加权二部图及其求解

直接求解式(3)所示的 MAP 问题比较困难,本文将 MAP 问题转化为加权二部图问题,并利用图论中的经典算法进行求解。假设在某个最小单元中,消失观测值与出现观测值分别构成加权二部图的 2 个点集,表示为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 与 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 。利用拓扑结构的时空约束判断任意观测值对 $x_i - v_j$ 的连通性,并结合本文提出动态阈值 Φ 来控制加权二部图中连通边的添加, Φ 的计算过程如下所述:对于任意的消失观测值,计算其与所有出现观测值的相似度,并将最大相似度添加到集合 U 中。对每个消失观测值进行类似处理后,将 U 降序排列得到一个包含 n 个元素的集合。本文假设正确的观测值对大于总观测值对数目的一半,取出 U 中前一半元素 $\{u_0, u_1, \dots, u_m\}$,动态阈值 Φ 定义如下:

$$\varphi = \frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^m u_i - \frac{1}{m+1} (u_0 - u_m) \cdot n \cdot P_a \quad (4)$$

式中: $\frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^m u_i$ 表示选中元素的均值,用来表示环境因素对于动态阈值设定的影响。 n 表示最小单元中消失目标观测值数目。 P_a 表示自适应参数,用来调整阈值,如果最小单元中消失目标的观测值数目与出现目标的观测值数目不一致,需要增加 P_a 的值以提高阈值。

对于添加到二部图中的观测值对 $x_i - v_j$,计算其多特征观测模型匹配率,作为边的权重,从而将原始 MAP 问题转化为自适应加权二部图问题。采用 Kuhn-Munkres 算法求解自适应加权二部图的最大权匹配,得到原始 MAP 问题的解,即无重叠视野下的目标匹配关系。

3 结果分析

3.1 多特征观测模型有效性试验

本文选取了不同场景下 200 对观测值进行有效性试验,为了测试本文算法的有效性,选取了 IMC-SHR 特征模型^[6]与 TWC 特征模型^[8]进行对比试验,并通过人工方式识别出不同模型的正确匹配数。为了体现出空间纹理特征对主颜色特征的辅助作用,试验还测试了单纯使用主颜色特征所能够达到的匹配成功率。表 1 给出了对比试验结果,本文提出的观测模型由于融合了描述全局信息的颜色与描述局部信息的纹理,其匹配成功率超过 90%。单纯使用主颜色构造观测模型,由于缺少了目标细节信息的描述,因此其匹配成功率降低至 88%。IMCSHR 也是采用主颜色构造观测模型,但是由于未考虑光照变化的影响,因此其准确率降低至 84%。TWC 方法在颜色模型中添加了时间加权信息,提高了对光照变化的鲁棒性,但由于模型仅仅采用普通的颜色模型,因此匹配准确率为 86%。综上所述,本文提出的观测模型具有相对较高的匹配成功率。

表 1 不同观测模型匹配率

Table 1 The matching rates of different observation models				
模型	待匹配对数	正确匹配数	错误匹配数	匹配成功率
本文模型	200	188	12	94%
单纯主颜色	200	176	24	88%
IMCSHR	200	168	32	84%
TWC	200	172	28	86%

3.2 目标匹配算法有效性试验

为了测试本文所提出的基于自适应加权二部图

的目标匹配算法的有效性,试验中以本文提出的多特征观测模型为基础,分别比较了本文算法与普通加权二部图^[9-10]以及最小费用流匹配算法^[4]的准确率与实时表现。根据最小单元划分准则,本文所搭建的监控网络可以分成3个最小单元,表2给出了各个最小单元中对于相同目标集合使用不同匹配算法得到的匹配准确率。

表2 不同匹配算法准确率分析

Table 2 The accuracy analysis of different matching algorithms %

	普通加权 二部图匹配	最小费用 流匹配	本文匹 配算法
室内时-空最小单元1	78	85	86
室内时-空最小单元2	72	84	83
室内时-空最小单元3	76	86	85

从表2中不难发现,本文提出的自适应加权二部图的目标匹配算法的匹配准确率与最小费用流匹配算法相当,均高于普通加权二部图算法。最小费用流匹配算法在进行目标匹配前,过滤了匹配可能性较低的观测值对,因此其匹配准确率高于普通加权二部图匹配算法。本文提出的匹配算法借鉴了事先过滤匹配可能性较低的观测值对的思想,通过动态阈值将其应用到二部图匹配中,成功达到了与费用流匹配算法相近的匹配准确率。

数据关联算法的复杂度决定了算法在实际关联问题中的应用前景,如果算法复杂度过高,那么即使其关联结果再精确,也无法应用于一些对时间要求较高的场合。表3给出了本文算法与普通加权二部图以及最小费用流匹配算法的计算复杂度,从表3可以看出,加权二部图匹配算法的计算复杂度比最小费用流匹配算法少一个量级,因此在处理大规模匹配问题时具有更好的实时性表现。

表3 不同匹配算法复杂度分析

Table 3 The complexity analysis of different matching algorithms

关联算法	计算复杂度(n 表示观测值数目)
最小费用流匹配算法	$O(n^4)$
本文匹配算法	$O(n^3) + O(m^2) + O(m)$ (一般取 $m = n/2$)
加权二部图匹配算法	$O(n^3)$

4 结 论

本文提出了一种基于自适应加权二部图的多特

征目标匹配算法,实现了在普通摄像机网络监控环境下利用目标的外表模型对不同摄像机视野下的目标进行比较准确的匹配。本文采用主颜色特征和空间纹理特征构造目标观测模型,对不同视野下的光照、视角差异具有较好的鲁棒性。本文提出了自适应加权二部图来表示目标匹配问题,有效排除了错误匹配,并利用 Kuhn-Munkres 算法解出了目标的匹配关系。利用真实监控数据对本文算法进行试验,表明本文算法不仅具有较高的匹配准确率,同时一定程度上兼顾了实时性表现。

参考文献:

[1] CAI Y H, HUANG K Q, TANG T N. Human appearance matching across multiple non-overlapping cameras [C]. Tampa: IEEE Computer Society, 2008.

[2] ZHAO R, OUYANG W L, WANG X G. Unsupervised Saliency Learning for Person Re-identification [C]. Portland: IEEE Computer Society, 2013.

[3] JAVED O, SHAFIQUE K. Modeling inter-camera space-time and appearance relationships for tracking across non-overlapping views [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 109(2):146-162.

[4] 刘少华,赖世铭,张茂军. 基于最小费用流模型的无重叠视域多摄像机目标关联算法 [J]. 自动化学报, 2010, 36(10): 1484-1489

[5] LI S H, GUO G Z. The application of improved HSV color space model in image processing [C]. Wuhan: IEEE Computer Society, 2010.

[6] PICCARDI M, CHENG E D. Track matching over disjoint camera views based on an incremental major color spectrum histogram [C]. Como: IEEE Computer Society, 2005.

[7] 陈炳权,刘宏立. 基于颜色纹理和形状特征相结合的图像检索系统 [J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2009, 21(4):67-70.

[8] HUANG J G, KONG B. A New Method of Unstructured Road Detection Based on HSV Color Space and Road Features [C]. Jeju City: IEEE Computer Society, 2007.

[9] 贾科勤,王洪元,程起才. 基于自适应阈值 Canny 算子的视频文本定位方法 [J]. 常州大学学报(自然科学版), 2014, 26(1):47-51.

[10] 刘少华,张茂军,陈旺. 无重叠视域多摄像机的数据关联算法 [J]. 计算机应用, 2009, 29(9): 2378-2382.

(责任编辑:李艳)