

UDC 004.932

文章提交日期: 11/27/14

DOI: 10.15827/0236-235X.109.121-126

计算视频序列中的人数

基于人体头部检测器

(这项工作得到了俄罗斯基础研究基金会的支持, 资助号 14-01-00849A)

静脉注射 菲利波夫, 工程师, ili.filippov@gmail.com (Intel

Corporation, Krylatskaya st., 17-4, Moscow, 121614, Russia);

V.A. 科诺诺夫, 首席开发人员, vladimir.kononov@tevia.ru ;

V.S. 科努申, 首席执行官, vadim@tevia.ru

(视频分析技术公司, Sculptor Mukhina St., 7, Moscow, 119634, Russia) ;

作为。科努申, 物理和数学科学候选人, 副教授,

ktosh@graphics.cs.msu.ru (以 M.V. Lomonosov 命名的莫斯科国立大学,

Leninskiye Gory, 莫斯科, 119991, 俄罗斯)

在本文中, 我们考虑了为视频序列的每一帧计算选定区域中的人数的问题。目前, 还没有一种方法可以在不需要重新配置参数或在新场景上训练的情况下, 在不同场景下应用到不同场景下的人数估计精度高。本文回顾了解决该问题的现有方法, 并提出了一种新算法, 该算法开发了先前提出的基于人头检测器的方法。作为检测器, 使用基于软级联的算法, 使用boosting方法进行调优, 图像特征是矩形区域上的亮度、颜色、梯度范数和梯度滤波器响应值的值之和。检测器的配置方式可提供最大可能的检测完整性, 即提取视频序列中包含的几乎所有人物头部图像。由于人头图像区域面积较小, 对召回率的要求较高, 导致检测器出现大量误报。根据检测大小、人体身高、与所选前景区域的检测匹配和时间稳定性等标准, 提出了误报的多阶段过滤。所提出的算法在开放参考集合上的实验评估表明, 该算法在精度上优于模拟算法, 同时在不同场景下显示出可比较的结果, 而无需对其进行特殊调整。由于人头图像区域面积较小, 对召回率的要求较高, 导致检测器出现大量误报。根据检测大小、人体身高、与所选前景区域的检测匹配和时间稳定性等标准, 提出了误报的多级过滤。所提算法在开放参考集上的实验评估表明, 该算法在精度上优于模拟算法, 同时在不同场景下显示出可比较的结果, 而无需对其进行特殊调整。暂时稳定。所提出的算法在开放参考集合上的实验评估表明, 该算法在精度上优于模拟算法, 同时在不同场景下显示出可比较的结果, 而无需对其进行特殊调整。

关键词: 计算机视觉, 视频分析, 人数统计, 视频序列, 检测器, 错误检测, 过滤。

分析人群在拥挤场所的行为的任务非常重要。大量涉及安全、应急预防和统计信息收集的任务需要人群监控。人的积累的一个关键指标是他们的数量。例如, 与给定时间和日期的平均值相比, 监视区域中的人数明显过多可能是紧急情况、潜在危险情况的关键指标。大多数人类行为监控系统都基于来自固定视频监控摄像机的数据。因此, 我们遇到了计算从静态监控摄像机接收到的视频流帧中的人数的问

题。相关区域的大小以及该区域可容纳的最大人数估计值。基于这种方法的算法不稳定, 不适用于室内空间。另一种方法是使用基于机器学习的个体检测器, 这样可以对每个观察到的人进行计数。因为在观察一群人时, 一个人的身影通常不是完全可见的, 所以这种方法通常使用一个人的头部检测器, 从更大的一组角度都可以看到。

本文提出了一种新算法, 该算法开发了先前提出的基于人体头部检测器 [1] 的方法。基于使用增强方法调整的软级联的算法用作检测器。根据检测大小、人体身高、与所选前景区域的检测匹配和时间稳定性等标准, 提出了误报的多阶段过滤。

用于估计人数的算法面临许多问题: 重叠的人、各种姿势、输入数据的质量差、人群中人数少。在这方面, 目前没有系统可以在实践中可靠地估计图像中的人数。大多数系统根据图像选定区域中填充空间的百分比来估计它, 同时考虑到几何

现有方法概述

估计图像中人数的可用方法可分为三大类。

groups: 回归, 基于轨迹的聚类, 基于框架中个人的明确选择。

第一组包括使用机器学习建立图像特定区域中的人数对该区域视觉特征的依赖性的回归函数的方法。这些方法显示了计算人数的最佳准确性, 但仅适用于手动标记示例并用于训练算法的场景和角度。结果, 当该算法应用于其他场景和角度时, 计算的准确性会急剧下降。该组包括提取结构特征 [2-8]、提取梯度特征 [9 -11] 和提取纹理特征 [8、12、13] 的算法。

第二组算法基于在视频序列中寻找轨迹及其进一步聚类 [14, 15]。这些算法构建一组点的轨迹, 并将一组同样移动的点视为一个人。这样的算法可以成功地用于处理不同的场景, 但它们不能很好地处理没有轨迹的情况, 例如队列、站立的人群、一个人与另一个人的长时间重叠或单幅图像。

本文讨论了第三种方法, 它基于框架 [1] 中个人的明确选择。由于人像在拥挤的地方与其他人的重叠很多, 因此对象选择算法可以成功地仅用于检测人体的特征部位, 例如头部。然而, 由于图像中人头区域的尺寸极小, Pets 测试集 [16] 上的分量约为

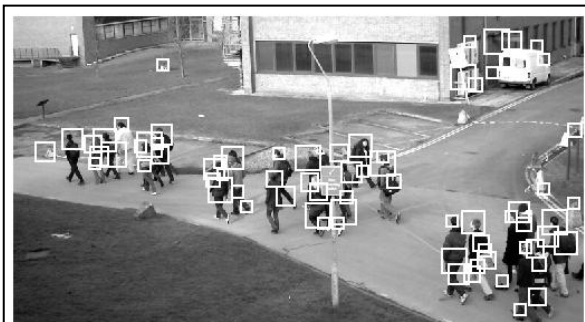
10-15 像素, 检测需要特殊设置以提高检测算法的灵敏度。结果, 在检测算法的输出端, 形成了大量的错误检测, 必须将其过滤掉。

提出的算法

所提出的用于解决该问题的算法是基于图像中人头明确识别的方法的发展 [1]。作为头部检测器, 使用了一种基于软级联分类器 [17] 的算法, 适用于搜索小物体。由于这种设置, 人头检测算法具有高召回率和低准确率, 即它实际上不会遗漏对象, 但会产生许多错误检测, 如图 1 所示。

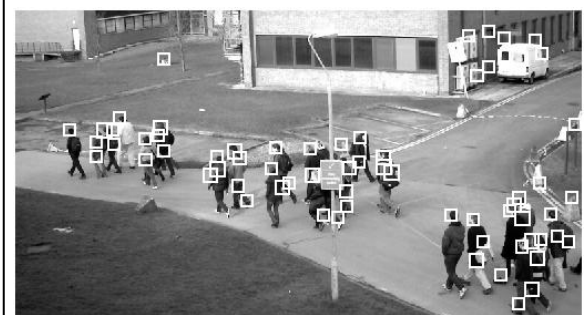
为了过滤误报, 提出了一种基于多种检测特征的多阶段程序。

第一个建议的过滤步骤是基于观察到从固定视频监控摄像机拍摄的图像中人头的大小略有变化。这允许您为真实检测的大小设置最小和最大阈值。由于透视投影, 头部图像的大小取决于与人的距离, 因此必须为帧的每个区域计算阈值。为此, 建议应用文章 [6] 中的方法, 使用在初始相机设置期间计算的透视向量。第一个过滤步骤后的结果如图 2 所示。



米。1. 一组检测示例
过滤前

如图。1. 过滤前头部检测示例



米。2. 过滤后的大量检测
按图像大小

如图。2. 基于大小过滤后的检测

在过滤的第二阶段, 建议过滤掉不在前景中的检测。为了计算前景, 使用最简单的背景减法算法, 基于计算当前图像和背景图像之间的逐像素差异。在设置算法的初始阶段, 我们拍摄图像我没有人。对于每一帧我_k计算掩码中期计划:

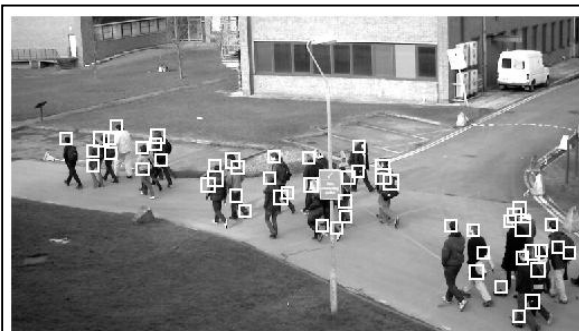
$$F_{k-1} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } I_{k-1} - I_{k-2} > \text{阈值} \\ 0 & \text{否则,} \end{cases}$$

在哪里我 $1, \dots, W, j-1, \dots, H, k-1, \dots$, 否, 乙- 放- 临界点。

值得注意的是, 在所提出的算法中, 前景仅用于过滤掉误报, 这与在群体的前景区域和群体人数之间建立回归函数的算法形成对比。因此, 该算法只需要以最快的方式获得一个粗糙的前景掩码。第二阶段的过滤结果如图3所示。

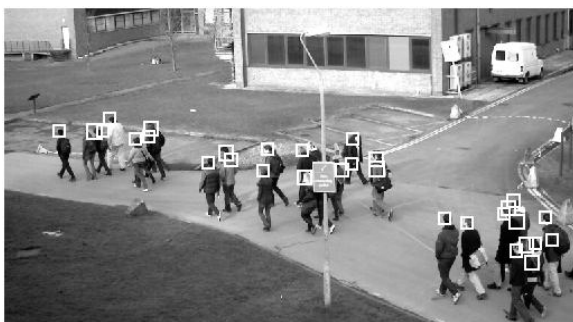
在过滤的第三阶段, 观察到由于相机水平放置, 人体图像严格位于头部图像之下。由于身体也是前景, 因此可以过滤掉没有与下方人体对应的前景区域的检测。

前景蒙版和相机标定可用于计算阈值大小, 对应人的最小身高, 考虑到视角, 过滤掉所有 detections, 低于这个高度的前景像素较少大小。过滤结果的示例如图4所示。



米。3.过滤后检测很多
前景

如图。3. 基于前景过滤后的检测



米。4.过滤后检测很多
高度

如图。4. 基于高度过滤后的检测

第四阶段, 进行梯度过滤。在[1]中, 建议寻找具有水平梯度的区域并考虑

兴趣点(可能正确检测)是每个区域的质心。进行的实验评估表明, 当人们站得很近时, 这些区域会重叠, 并且不可能从中为每个人提取单独的点。因此, 选择了一种更简单的算法, 如果其上部至少有一个像素属于具有水平梯度的图像区域, 则认为检测为真。

在最后阶段, 过滤了眨眼检测, 这是由于真实头部在每一帧中都是稳定的, 而每帧中的错误头部通常是不同的。这可以通过在帧之间护送人员来实现。当使用算法跟踪一组对象时, 例如 [18] 或 [19], 可以实现最高的准确性, 但为了在这项工作中发挥性能, 使用视觉跟踪 [20]。

对于每一个发现欧当前帧我 k 在下一帧中此检测的某个邻域我 $k+1$ 搜索最相似的区域吨(欧):

吨-欧- $\{X, \text{是}, \text{升}\}$ 升-欧 $\text{升}, X-[欧X-$

欧 $\text{升}^*2; 欧X-欧\text{升}^*2], \text{是}---欧\text{是}-欧\text{升}$

$^*2; 欧-欧^*2--$, 是 升

$-X, \text{是}--分钟-我_{k-1} \uparrow \left\{ \begin{array}{l} \text{我}_{j-欧-我_{j-}} \\ \text{我}_{j-X, \text{是}} \end{array} \right\}.$

这里检测欧其特点是长度欧 升 和坐标欧 是 和欧 是 . 它包括像素欧[我 j], [我 j] = [0..1, 0..1]。

因此, 对于一组检测米当前框架, 我们得到他们未来的集合

下一帧中的位置米 $n = \{吨(欧)-欧-米\}$.

处理下一帧时我 $k+1$ 错误检测是那些不匹配来自任何位置的一半以上的检测米 n . 在这种情况下, 如果存在匹配项, 则从中删除该位置米 n .

图5显示了聚合中所有过滤阶段的结果示例。



米。5.检测集的最终形式
过滤后

如图。5.过滤后的最终检测

用于识别头部和过滤错误检测的算法中的错误导致对人数的估计通常在帧与帧之间发生变化。因此，可以使用中值滤波来平滑估计，例如，在当前值和两个先前帧之间。然而，正如在实验评估期间所证明的那样，在某些情况下，可以改进时间过滤。假设一群人进入图像中的感兴趣区域并停留在那里。由于感兴趣区域内人在帧之间的轻微移动，该算法将在每个帧中产生不同的分数。同时，感兴趣区域的真实人数并没有改变，这意味着可以对比前两帧大得多的帧数进行结果平均。对于每一帧，您可以跟踪通过感兴趣区域边界进入和退出的人数，跟踪他们的轨迹是否与前一帧的感兴趣区域边界相交，以及从哪一侧相交。所以对于每一帧我能找出“人数变化”和 H_k 。此外，画面中估计的人数是已知的。和 k 由算法返回。

处理当前帧 k ，我们知道 N_k 和 H_k 和 H_{k-1} 。如果算法完全没有错误，则当前帧中的人数和 k_j 可以表示为帧中的人数和 k 和变化

$$\text{通道: } C_{k,j} = C_{j-1} - \text{通道} \cdot k_j$$

使用此公式，您可以构建向量 $C_{k,j}, j \in [k-r, k-1]$ ，画面中的人数 k 干部投票给哪个 $k-r, \dots, k-1$ 。然后，您可以使用中值过滤中值（和 k_j 和 i ）。

由于“人数变化”定义的错误，这种方法在两种情况下比通常的结果平均具有优势：

- 出现在视频序列中
长时间停顿，在此期间人数要么根本没有变化，要么每帧变化不显著；
- 检测和统计区域中的人数
靠近感兴趣区域的边缘比在感兴趣区域的中心表现更好。

实验评价

对所提出的算法进行了实验评估，并将其与 [1] 中的算法进行了比较。评估是在 PETS 2012 开放参考集 [16] 上进行的。在比较中使用了五个视频序列，其结果发表在 [1] 中。一次-

所有视频序列的解决方案 768-576 像素。框架中的人数范围为 0 到 40 人。平均图像大小

帧中的人头为 12-12 像素。分类器的训练样本中没有包含 PETS 视频序列。

使用两个准确度指标进行测量 - 麻乙(平均绝对误差) 和 MRE(平均相对误差)：

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |G_j - \hat{G}_j|$$

$$MRE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{|G_j - \hat{G}_j|}{G_j}, G_j \neq 0,$$

在哪里 G_j - 画面中正确的人数 \hat{G}_j - 在框架中找到的人数 N - 帧数。

MAE 指标显示所有帧的平均人数误差，并以人数为单位进行衡量。MRE 指标显示帧中正确人数的错误百分比，对所有帧取平均值。如果所有错误都具有相同的值而不管帧中的总人数，则使用 MAE 度量。例如，4 到 6 人之间的错误和 42 到 44 人之间的错误被同等对待。如果错误的重要性取决于帧中的总人数，则使用 MRE 度量。MAE 和 MRE 指标彼此没有直接关系。一方面，MAE 指标的误差减少和 MRE 指标的误差增加表明该算法开始在大量人群中表现更好，而在少数人群中表现更差，反之亦然。

表中显示了三个感兴趣区域的实验评估结果。值得注意的是，区域 1 几乎占据了整个图像，包括区域 2 和 3。

根据实验评估的结果可以看出，对于 [1] 中的算法，在很多情况下 MRE 误差明显超过 20%。所提出的算法工作更稳定，仅在一个地方显示出明显大于 20% 的错误。当考虑 MAE 结果时，可以看出 [1] 中的算法在某些片段上显示出非常好的精度，例如 0.79-0.86，而在其他片段上结果明显更差，高达 7-13。可以假设选择算法 [1] 的参数以在这些特定视频序列上很好地工作。所提出的算法仅在两个视频序列上证明了 MAE 结果显著大于 2.5。基于实验评估，可以认为所提出的算法比 [1] 更通用。

所提出算法的实验评估结果

所提算法的实验评估结果

视频 宠物	MRE 指标						MAE指标					
	结果 [1]			建议铝			结果 [1]			提出的算法		
	地区						地区					
	1个	2个	3个	1个	2个	3个	1个	2个	3个	1个	2个	3个
L1-13-57	百分之三十	19%	32%	16%	17%	17%	5.95	1.9	2.5	3.3973	1.8037	1.3881
L1-13-59	十一 %	18%	十一 %	17%	29%	22%	2.08	1.86	0.86	2.35	1.7667	1.1542
L2-14-17	10%	10%	9%	9%	十一 %	10%	2.2	1.89	0.79	1.809	0.7753	1.2584
L3-14-31	31%	34%	20%	9%	20%	12%	7	2.84	2.5	2.3256	2.6124	1.031
L3-14-33	52%	44%	13%	14%	十一 %	十一 %	16	13	1个	3.8713	1.7807	0.5146

根据对我们自己的例子进行的实验评估结果，确定了算法的适用范围。主要标准是人头图像的大小，

它应该超过 10-10 个像素，这允许使用基于积分梯度特征和软级联 [17] 的对象选择算法。所提出的算法在前景区域不形成连续空间、人的图像在垂直方向上不相互重叠以及观察到的人正在积极移动的情况下表现出最高的准确性。

总之，我们注意到本文提出了一种算法，用于根据帧中人头的选择来计算视频序列感兴趣区域中的人数。基于前景掩模、检测大小、人体高度、跟踪稳定性以及结果的时间过滤，提出了许多错误检测滤波器。所提出的算法在 PETS 参考集合上的实验评估表明，它在大多数序列上优于算法 [1]。

可以在以下方向进一步发展这项工作。首先，由于使用更快的方法构建轨迹，它提高了生产率。其次，开发评估人们进入/离开感兴趣区域的方法，例如，通过将图像划分为多个扇区并评估它们之间的过渡。第三，改进在图像中选择人头的算法，以提高其在图像中头部区域尺寸较小的情况下的工作质量。第四，扩展参考集合以调整算法的参数。

文学

1. Subburaman VB, Descamps A., Carincotte C. 计数人群中通用头部探测器的人。过程。的。IEEE 实习生。会议。关于高级视频和基于信号的监视 (AVSS), 2012 年, 第 470-475。

2. Kilambi P., Ribnick E., Joshi AJ, Masoud O., Papanikolopoulos N. 估计群体中的行人数量。计算机视觉与图像理解, 2008, 卷。110, 没有。1, 页。43-59。

3. Ryan D., Denman S., Fookes C., Sridharan S. Crowd 使用多个局部特征进行计数。数字图像计算: 技术与应用, 2009, pp. 81-88。

4. Ryan D., Denman S., Fookes C., Sridharan S. Crowd 使用组跟踪和局部特征进行计数。过程。的。IEEE 实习生。会议。关于基于高级视频和信号的监视 (AVSS), 2010 年, 第 218-224。

5. Kong D., Gray D., Tao H. 计算人群中的人人使用视点不变训练。过程。的。英国机器会议。(BMVC), 2005, pp. 1-10。

6. Chan AB, Liang Z., Vasconcelos N. 隐私保护人群监控: 在没有人模型或跟踪的情况下统计人数。过程。的。IEEE 会议。关于计算机视觉和模式识别 (CVPR), 2008, pp. 1-7。

7. Davies A., Yin JH, Velastin SA Crowd monitoring us-图像处理。电子通讯工程杂志, 1995, vol. 7, 没有。1, 页。37-47。

8. Ghidoni S., Cielniak G., Menegatti E. 基于纹理人群检测和定位。过程。的。智能自治系统, 2013, pp. 725-736。

9. Marana AN, Costa L., Lotufo RA, Velastin SA Esti-将人群密度与 Minkowski 分形维数相匹配。过程。的。IEEE 声学、语音和信号处理国际会议, 1999 年, 卷。第 6 页 3521-3524。

10. Chen K., Loy C., Gong S., Xiang T. 特征挖掘校准人群计数。过程。的。英国机器会议 (BMVC), 2012 年, 第一卷。21, 页。1-11。

11. Ma W., Huang L., Liu C. 使用 co- 的人群密度分析发生纹理特征。过程。的。实习生。会议。关于计算机科学和融合信息技术 (ICIT), 2010, pp. 170-175。

12. Marana AN, Velastinb SA, Costac LF, Lotufod RA 使用纹理自动估计人群密度。安全科学, 1998, vol. 28, 没有。3, 页。165-175。

13. Rahmalan H., Nixon M., Carter J. 关于人群密度估计进行监视。工程技术学院会议。关于犯罪与安全, 2006 年, 第 540-545。

14. Rabaud V., Belongie S., Counting Crowded Moving Ob-对象。过程。的。IEEE 计算机学会会议。关于计算机视觉和模式识别 (CVPR), 2006 年, 卷。1, 页。705-711。

15. Brostow GJ, Cipolla R. 无监督贝叶斯检测人群中独立运动。过程。的。IEEE 计算机学会会议。关于计算机视觉和模式识别 (CVPR), 2006 年, 卷。1, 页。594-601。

16. PETS 2012 数据集。网址: <http://www.pets2012.net> (日期访问时间: 2014 年 11 月 20 日)。

17. Dollar P., Wojek C., Schiele B., Perona P. Pedestrian detection: 对现有技术的评估。IEEE 模式分析和机器智能交易, 2012 年, 卷。34, 没有。第 4 页 743-761。

18. Shalnov E., Konushin A. 基于 MCMC 的改进视频跟踪算法。过程。的。模式识别和图像分析 (PRIA-11-2013), 2013, pp. 727-730。

19. Kononov V., Konushin V., Konushin A. 人员跟踪人体高度安装相机的算法。计算机科学讲义, 2011, 卷。6835, 页。163-172。

20. Shi J., Tomasi C. 要跟踪的良好功能。过程。的。IEEE 计算机视觉和模式识别 (CVPR) 计算机协会会议, 1994 年, pp. 593-600。

DOI: 10.15827/0236-235X.109.121-126

2014年11月27日收到

基于头部检测计算视频序列中的人数

(这项工作是在 RFBR 的支持下完成的, 资助号 14-01-00849A)

菲利波夫四世, 工程师, ili.filippov@gmail.com

(英特尔公司, Krylatskaya St. 17-4, 莫斯科, 121614, 俄罗斯联邦);

科诺诺夫, 高级开发人员, vladimir.kononov@tevia.ru;**科努辛VS**, 首席执行官, vadim@tevia.ru

(Video Analysis Technologies, LLC, Skulptora Mukhinoy St. 7, Moscow, 119634, Russian Federation);

科努申AS, 博士 (物理和数学), 副教授, ktosh@graphics.cs.msu.ru

(罗蒙诺索夫莫斯科国立大学, Leninskie Gory, 莫斯科, 119991, 俄罗斯联邦)

抽象的。该论文考虑了为视频序列的每一帧计算选定区域中的人数的问题。目前还没有一种方法可以在不改变任何参数或在新视频序列的一部分上进行训练的情况下, 实现高精度、兼容不同场景的人数估计。

本文对现有方法进行了综述, 并提出了一种新算法, 它扩展了先前提出的基于头部检测的方法。对于头部检测, 作者使用了一种基于带有提升的弱级联集的算法。该算法使用矩形区域中的强度、颜色、梯度幅度、梯度过滤器响应值的总和作为图像特征。

选择检测器参数以最大化检测器召回。这样就可以在视频序列中检测到几乎所有的人头。由于视频序列中人头分辨率较低, 这会导致大量误报。作者提出了一种多阶段过滤程序, 该程序使用检测大小、人体身高、检测与提取的前景之间的对应关系、时间稳定性等标准。在开放地面真实数据集上的实验评估表明, 所提出的算法优于以前基于头部检测的算法, 并且在没有特定调整的情况下在不同序列上表现出一致的性能。

关键词: 计算机视觉、视频分析、人数统计、视频序列、检测器、误报、过滤。

参考

1. Subburaman VB, Descamps A, Carincotte C. 使用通用头部探测器计算人群中的人数。过程。的。IEEE 实习生。会议。高级视频和基于信号的监视 (AVSS), 2012, pp. 470-475。
2. Kilambi P., Ribnick E., Joshi AJ, Masoud O., Papanikolopoulos N. 估计群体中的行人数量。COM-其他视觉和图像理解, 2008, 第一卷 110, 没有。1, 页。43-59。
3. Ryan D., Denman S., Fookes C., Sridharan S. 使用多个局部特征的人群计数。数字图像计算机听: 技术与应用, 2009, pp. 81-88。
4. Ryan D., Denman S., Fookes C., Sridharan S. 使用群体跟踪和局部特征进行人群计数。过程。的。IEEE 实习生。会议。基于高级视频和信号的监视 (AVSS), 2010, pp. 218-224。
5. Kong D., Gray D., Tao H. 使用视点不变训练对人群中的人进行计数。过程。的。英国马-中国会议 (BMVC), 2005, pp. 1-10。
6. Chan AB, Liang Z., Vasconcelos N. 隐私保护人群监测: 计算没有人模型的人或跟踪。过程。的。IEEE 会议。关于计算机视觉和模式识别 (CVPR), 2008, pp. 1-7。
7. Davies A., Yin JH, Velastin SA 使用图像处理进行人群监控。电子通讯工程师-荷兰国际集团, 1995, 第一卷 7, 没有。1, 页。37-47。
8. Ghidoni S., Cielniak G., Menegatti E. 基于纹理的人群检测和定位。过程。的。智能自主-鼠标系统, 2013, pp. 725-736。
9. Marana AN, Costa L., Lotufo RA, Velastin SA 用 Minkowski 分形维数估计人群密度。过程。的。IEEE 声学、语音和信号处理国际会议, 1999, 第一卷 第 6 页 3521-3524。
10. Chen K., Loy C., Gong S., Xiang T. 用于本地化人群计数的特征挖掘。过程。的。英国机器控制参考 (BMVC), 2012, 卷。21, 页。1-11。
11. Ma W., Huang L., Liu C. 使用共现纹理特征的人群密度分析。过程。的。实习生。会议。在计算机科学与融合信息技术 (ICFIT), 2010, pp. 170-175。
12. Marana AN, Velastin SA, Costa LF, Lotufo RA 使用纹理自动估计人群密度。安全科学, 1998, 第一卷 28, 没有。3, 页。165-175。
13. Rahmalan H., Nixon M., Carter J. 关于用于监视的人群密度估计。工程学会和技术会议。犯罪与安全, 2006, pp. 540-545。
14. Rabaud V., Belongie S., 计算拥挤的移动物体。过程。的。IEEE 计算机学会会议。在计算机上-er 视觉和模式识别 (CVPR), 2006, 第一卷 1, 页。705-711。
15. Brostow GJ, Cipolla R. 人群中独立运动的无监督贝叶斯检测。过程。的。IEEE 计算机协会会议。关于计算机视觉和模式识别 (CVPR), 2006, 第一卷 1, 页。594-601。
16. PETS 2012 数据集。网址: <http://www.pets2012.net> (2014 年 11 月 20 日访问)。
17. Dollar P., Wojek C., Schiele B., Perona P. 行人检测: 对现有技术的评估。IEEE 跨模式分析和机器智能的行动, 2012, 卷。34, 没有。第 4 页 743-761。
18. Shalnov E., Konushin A. 基于 MCMC 的视频跟踪算法的改进。过程。的。模式识别和图像分析 (PRIA-11-2013), 2013, pp. 727-730。
19. Kononov V., Konushin V., Konushin A. 人体高度安装摄像机的人员跟踪算法。莱克-计算机科学笔记, 2011, 第一卷 6835, 页。163-172。
20. Shi J., Tomasi C. 要跟踪的良好功能。过程。的。IEEE 计算机协会计算机视觉会议和模式识别 (CVPR), 1994, pp. 593-600。