

文章编号:1004-4213(2010)02-0364-5

基于稳定 Harris 置信度的三步搜索数字稳像方法^{*}

张艳宁,张新功[†],朱宇,杨涛,张秀伟

(西北工业大学 计算机学院,西安 710072)

摘要:提出一种基于稳定 Harris 角点置信度的三步搜索法数字稳像方法.采用三步搜索法策略进行运动参量的计算,对三步搜索法结果使用稳定 Harris 角点置信度进行约束,提升运动参量计算准确度.针对分辨率为 320×240 存在±40 个像素范围内抖动的车载运动视频进行稳像处理,实验结果验证此方法有效可行.

关键词:数字稳像;稳定 Harris 角点;块匹配;三步搜索法

中图分类号:TN942.2

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20103902.0364

0 引言

数字稳像(Digital Image Stabilizing, DIS)近年来在车载视频监控领域变得越来越重要,其要求在保留摄像机的正常扫描运动的同时减小由于相机或者目标的运动带来的抖动.在不同的应用系统中 DIS 侧重点不同,主要技术指标体现在两个方面:实时性稳像和有效性稳像.代表算法有 SIFT 算法^[1]、块匹配(Block Matching, BM)^[2]、特征匹配^[3]、灰度投影法^[4],其相应搜索策略有三步搜索法(3-Step Search, 3SS)^[5]、菱形搜索法^[6]、十字搜索法^[7]以及诸多改进方法. SIFT 算法稳像效果好,准确度高,但由于 SIFT 需要建立特征描述符为一个 128 维的向量,对于 320×240 的车载视频处理速度慢,限制了其应用.块匹配、特征匹配、灰度投影法等损失一定准确度的情况下,实时性得到了满足,应用比较广泛.

车载监控目标的抖动由两个矢量^[8]组成,一个是相机载体的抖动因素,一个是监控目标的抖动因素;相机载体的抖动造成整个环境的偏移,而监控目标的抖动叠加在相机载体的抖动上构成了最终监控视频中的监控目标的偏移.监控的目的是为了稳定的观察目标的信息,因此有必要提出一种方法来对环境中特征进行抑制,而仅仅利用目标的特征信息来进行稳像处理.

本文针对块匹配算法在准确度方面的缺陷以及环境对整个稳像结果产生的影响,提出一种基于稳定 Harris 角点(Stable Harris corner, SHC)信任度

的 3SS 稳像策略(SHC-3SS).首先对视频前三帧进行训练获得 SHC,可有效滤除掉环境中角点;然后使用 3SS 求取运动参量,对含有 SHC 的匹配块的 3SS 结果进行加权拟合,块内角点多则获得较大的信任度,角点少的块图像纹理信息比较匮乏,其运动参量可信度较低.充分利用 Harris 角点提供的图像信息和三步搜索的速度优势,以期达到快速高准确度稳像.

1 基于 SHC 置信度的三步搜索稳像方法

车载稳像要求实时有效稳像,监控目标的稳定则为重点. SHC-3SS 充分利用 3SS 方法的快速性,并针对 3SS 结果受到图像纹理影响,引入 SHC 置信度机制,对结果进行约束,提高计算结果准确度. SHC-3SS 算法可以分为两个步骤:三步搜索求解运动参量和建立 SHC 置信度准则约束结果输出.

1.1 三步搜索法原理基础

传统三步搜索是针对全局搜索法(Full-Search, FS)^[9]提出来的,FS 虽然准确度高,但是要求对搜索窗内每一个像素块都进行匹配,运算复杂度非常大.而 3SS 则只对搜索窗内稀疏分布的 27 个块进行匹配即可,每次搜索步长均为前一次搜索步长的一半,逐步精确,处理速度快,但是会陷入局部最小.特别是当前搜索窗含有较少的纹理信息时,搜索匹配结果将会出现较大误差,结果可信度降低.

1.2 Harris 角点算子

Harris^[10]角点检测原理是设计一个局部检测窗口,局部检测窗在图像上移动,角点检测方法为

$$E(x, y) = \sum_{i,j} w(i, j) [I(x+i, y+j) - I(x, y)]^2 = \sum_{i,j} w(i, j) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

^{*} 国家高技术研究发展计划基础课题和新世纪优秀人才计划资助

[†] Tel:029-88431536

Email:hermas@126.com

收稿日期:2008-11-06

修回日期:2009-01-19

I 为当前帧图像矩阵, $\omega(i, j)$ 为平滑窗在 (i, j) 处的系数, 本文中设定为 3×3 的高斯窗; $I(x, y)$ 为当前帧 (x, y) 处的像素值; I_x, I_y 依次为图像在水平、垂直两个方向上的梯度, I_x^2, I_y^2 依次为图像在水平、垂直方向上的二阶梯度。

Harris 本质利用梯度运算和自相关矩阵, 充分体现图像在局部区域内的纹理特性. 在视频序列中, 监控目标的角点一般都比较稳定, 环境中的角点变化较大, 环境中角点配准结果会对稳像产生影响, 因此有必要对环境中角点进行过滤。

1.3 SHC-3SS

针对块匹配易陷入局部最小的缺陷以及 Harris 角点提供的图像纹理信息, 对 Harris 角点进行扩充: 用 e, d, m, g, l, r, s 依次代表角点图像坐标、角点梯度、角点的区域性、角点灰度值、信任域左上与右下的坐标以及此角点是否稳定. 利用角点周围冗余纹理信息建立置信度准则, 对角点进行过滤, 减少不必要的误匹配以及环境中角点对结果产生的影响^[11], 对块匹配进行指导, 纹理缺乏的块匹配结果被抑制, 提升块匹配的准确度; 并针对 3SS 过程中易产生误匹配的现象, 隔行隔列选取搜索所用的匹配块^[12], 避免图像相邻像素相关性; 整个稳像流程有效减小 3SS 算法因为纹理信息缺乏造成的局部最小现象的影响. 在损失从基准帧起始的三帧稳像效果的前提下, 使得结果可信度进一步提升. 流程如图 1.

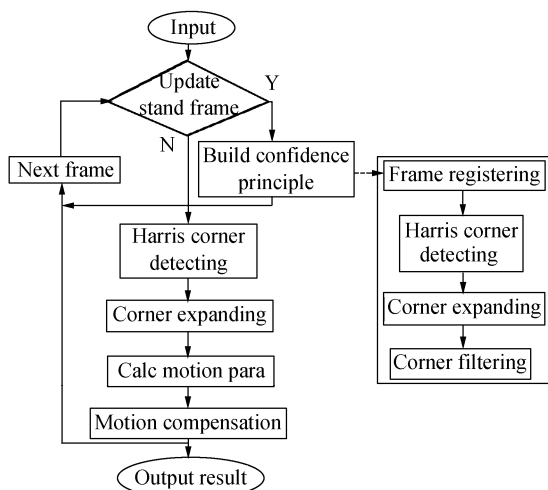


图 1 SHC-3SS 流程图

Fig. 1 Flow chart of SHC-3SS

步骤 1 读入视频序列, 基准帧 I 更新则进入步骤 2), 否则直接进入步骤 3);

步骤 2 建立信任准则, 主要由帧寄存、Harris 角点检测、角点描述符扩展、角点过滤四部分组成。

1) 从当前帧开始, 连续存储三帧, 并不进行稳像处理, 对每一帧进入 2);

2) 当前帧 Harris 角点检测, 并将角点暂存, 依次记为 $C_{r_1}, C_{r_2}, C_{r_3}$;

3) 暂存角点描述符扩展: 求解 d , 用方向链码表示, 记录极大与次大方向; 求解其 m, l, r, m 为当前角点所在块号, l, r 依次为当前角点所在分块的左上、右下坐标;

4) 相邻两帧角点过滤, 若 $C_{r_2}[i]$ 与 $C_{r_1}[j]$ 的 d, m 描述一致, 则将 $C_{r_1}[j]$ 存储到 C_{r_0} 中; 如果 $C_{r_3}[i]$ 与 $C_{r_0}[j]$ 的 d, m 描述一致, 那么记 $C_{r_0}[j]$ 的 s 为 1, 记录第 b_i ($i=1 \cdots n$) 块内的 SHC 数目 n_i ($i=1 \cdots n$) 和 R 的 SHC 总数 N , 并读入下一帧图像后进入步骤 3);

步骤 3 对当前帧 R 进行 Harris 角点检测, 并进行角点描述符扩展;

步骤 4 在 R 第 b_i 分块中心位置隔行隔列选择 8×8 的匹配窗, 使用此匹配窗在 I 对应 SHC 信任域内进行 3SS 寻找最佳匹配位置. 对于第 b_i 块运动参量记为 f_i ;

步骤 5 对 3SS 结果进行加权最小二乘拟合求解运动矢量 $R_i = I_i + \frac{n_i}{N} f_i$ ($i=1 \cdots 48$), 求出全局运动矢量 f . 将每个 SHC 的信任域加上运动矢量 f 构成下一帧此 SHC 的信任域;

步骤 6 运动补偿; 溢出部分补零。

其中, 在步骤 4 中, 隔行隔列选取 8×8 的匹配窗, 可以有效减小 3SS 陷入局部最小的概率, 是因为图像相邻像素具有相关性, 隔行隔列选取可以一定程度上减小这种相关性, 使得匹配结果更加可信, 而且在速度相同的情况下, 可以选择更大的匹配块, 匹配准确度自然更高。

其中, 步骤 2 中的 d 由两个方向的值组成, 分别使用角点水平、垂直、 $\pm 45^\circ$ 方向 3×5 小块与对应反方向 3×5 小块求取差方和, 记录最大和次大结果作为 d 的值. 对每一个 SHC 在匹配过程中, 只查找信任域内的最佳匹配位置, 信任域外的角点过滤掉, 有效地过滤掉了大多数环境中的角点。

基于 SHC 置信度的 3SS 稳像方法, 以损失基准帧起始的三帧的稳像效果和一定的处理速度为代价, 对环境中角点进行过滤, 使得有效匹配用角点数目大大减小, 隔行隔列选取匹配窗, 在不损失速度情况下, 使得匹配窗口更大, 而且避免像素之间相关性, 充分结 3SS 的快速性质和 Harris 角点提供的关于图像的纹理信息, 指导块匹配, 降低由于信息不丰富导致误匹配的块对结果的影响, 在很大程度上减小了 3SS 陷入局部最小的概率, 提升运动参量计算结果准确度。

2 实验结果与分析

以本文算法为核心,在 VC6.0 下,辅助开发工具为 DirectShow9.0,实现一个数字稳像软件,机器运行环境为 P4 2.66GHZ,512M 内存;原始视频分

辨率为 320×240 ,15 帧/s,共 144 帧,监控目标为存在抖动的汽车,有一定尺度缩放,旋转角度较小.对 BM、SIFT、本文方法进行实验验证对比,对算法耗时、视频稳定性进行统计分析,结果数据如图 2.

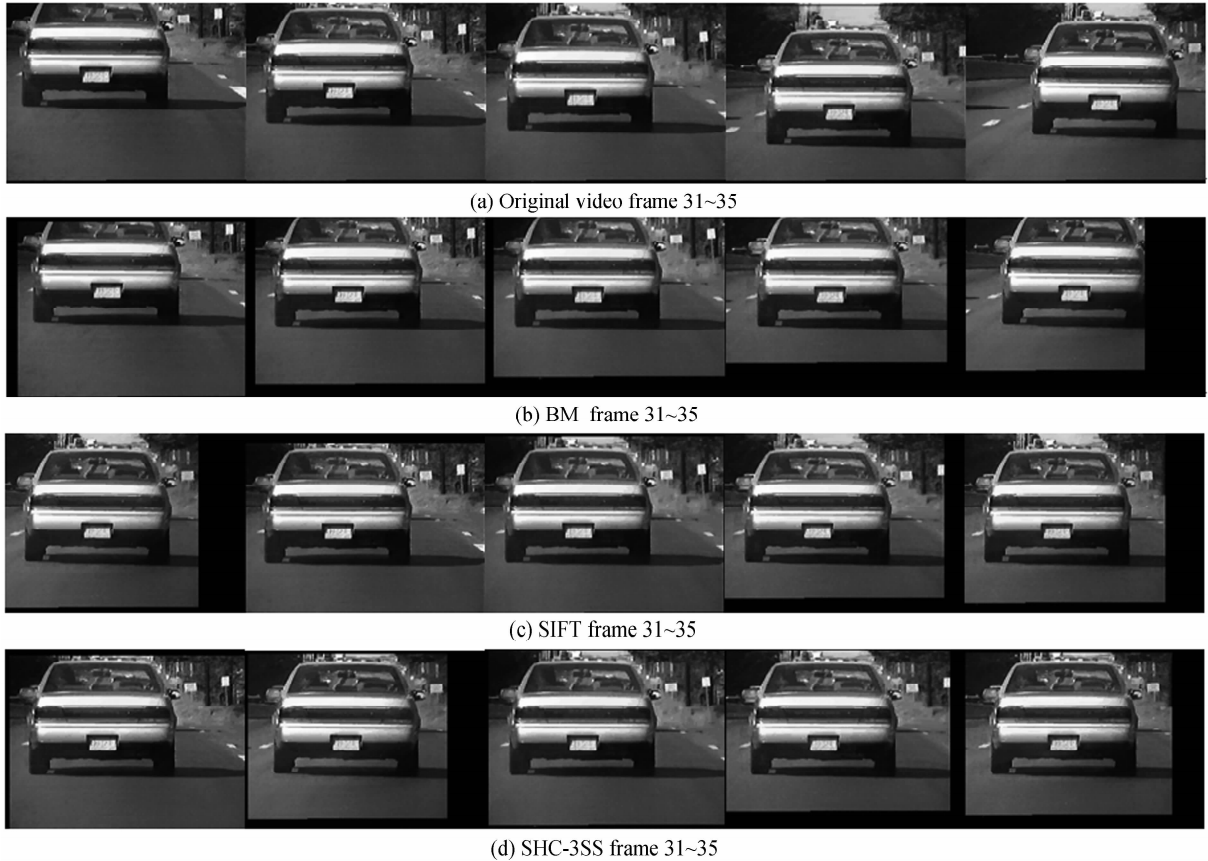


图 2 视频部分序列

Fig.2 Part of video sequence

2.1 计算量分析

表 1 中,对比 SIFT 的速度而言,本文 SHC-3SS 更优,因为前三帧过滤稳定角点耗时达到 1.209 s,导致总耗时达到 15.047 s,但是其依然仅为 SIFT 稳像速度的 1/9;对于原始视频,如果除去前三帧处理时间,本文算法平均处理速度为 10.3 帧/s,而且

表 1 算法耗时对照表

Table 1 Time-consuming table

Method	BM	SIFT	SHC-3SS	SHC-3SS(Except)
Time/frame/ms	50.69	975	104.3	97.45
Total times/s	7.647	140.832	15.047	13.838

表 2 质心轨迹统计特性分析表

Table 2 Statistical analysis of the centroid trajectory table

Parameters	X trajectory			Y trajectory			$\sqrt{X^2+Y^2}$		
	BM	SIFT	SHC-3SS	BM	SIFT	SHC-3SS	BM	SIFT	SHC-3SS
Average error	1 713.9	115.6	136.5	665.2	133.1	101.6	1 838.5	176.3	170.2

视频序列越长,本文方法速度优势越明显.

2.2 准确度分析

为评价本文算法稳定性,选择视频中小车上的车牌质心坐标轨迹作为统计,在 Matlab6.5 下实现手动选取车牌.图中实心红色线为质心图像 X 坐标轨迹,蓝色点线为质心图像 Y 坐标轨迹,横坐标为帧号,纵坐标为质心图像坐标,对比如图 3.

BM 与 SIFT 以第一帧为参考帧;SHC-3SS 以第三帧为基准帧,分别求解其与对应基准帧上质心真实坐标之间偏差均方,对比结果如表 2.

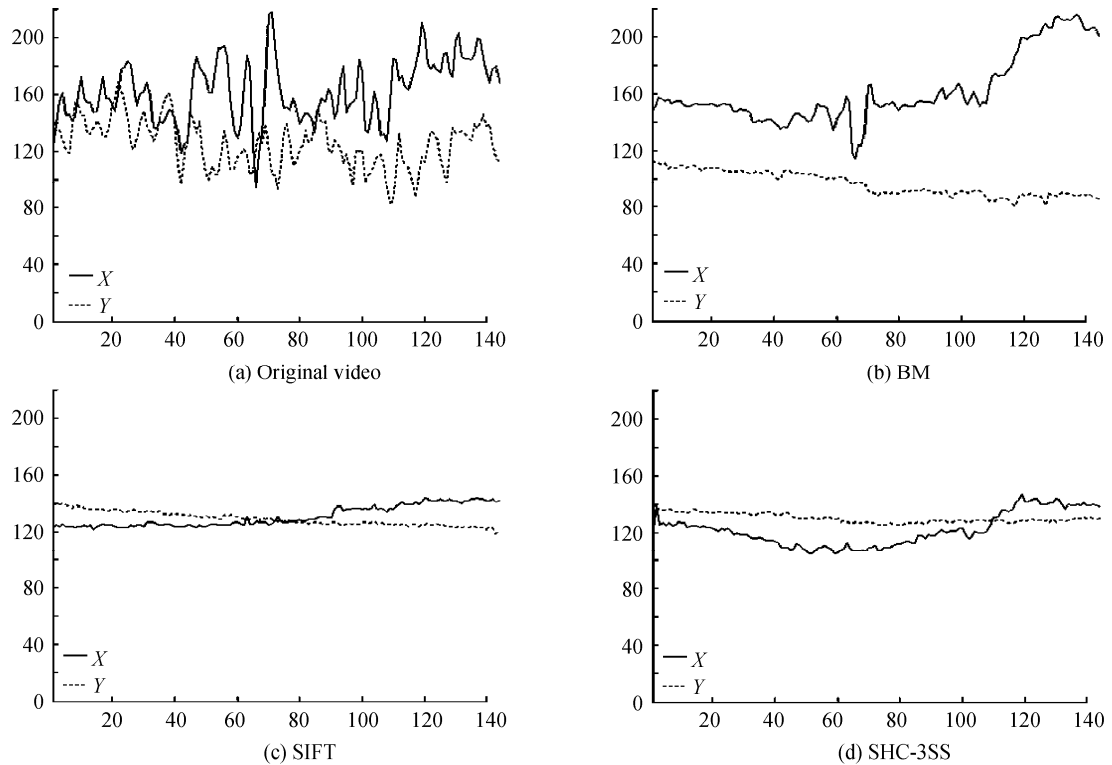


图 3 标志块质心轨迹

Fig. 3 Orbit of the mark central

图 3 中,原始视频中的车牌质心坐标呈现无规则的抖动,对比 BM 和 SHC-3SS,可以发现,在添加 SHC 置信度后,本文方法的曲线明显比 BM 平稳,对应表 2 中,SHC-3SS 轨迹方差均优于 BM. 对于纹理缺失的块匹配对结果的影响降低,对环境中角点的滤除,只针对监控目标进行稳像,验证 SHC 置信度的有效性.

图 3 中的 SIFT 以第一帧为基准帧,SHC-3SS 选择第三帧为基准帧,两者稳像效果相近;对应表 2 中,方差均在同一数量级,对比 Y 轨迹本文方法优于 SIFT 方法.

文中提出基于 SHC 方法保留部分正常扫描^[13]运动,更贴近实际. SHC-3SS 在 X 方向稳像结果比 SIFT 差的原因经分析是因为原始视频在 61 帧时 X 方向的抖动范围超过 ± 40 个像素,超出 SHC 信任域所致.

3 结论

SHC-3SS 引入 SHC 置信度机制,对原始 3SS 结果进行约束,使得纹理信息缺乏块的匹配结果对结果影响变小,并对环境中角点进行过滤,进一步提升运算速度与准确度,经实验验证 SHC-3SS 稳像策略稳像准确度高,速度较快,可在 DSP 上进行实现,以进一步提升速度和便携性,适合于监控目标固定且抖动范围在 ± 40 个像素范围内的车载视频监控.

但基准帧的选取具有先验知识性,必须人为的预先判断好才可以,其对用户依赖度较高,如果能找到一种基准帧动态智能更新策略,稳像效果会有所提升. 信任域的大小为预先设定,根据纹理区域进行图像分割并由此划定信任域用于匹配约束将会是下一步要研究的关键点.

参考文献

- [1] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant interest points [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, **60**(2):91-110.
- [2] SOROUSHMEHR S M R, SAMAVI S. An adaptive block matching algorithm for motion estimation[C]. *IEEE CCECE/CCGEI May 5-7, 2008 Niagara Falls, Canada*, 2008: 331-334.
- [3] CHUNG C Y, CHEN H H. Feature-based full-frame image stabilizing[C]. *IEEE, SIM 2007*. 10. 1109/ISM2007. 44. 100-106.
- [4] WANG Xiao-yong, LI Qi, XU Zhi-hai, et al. Real-Time digital image stabilization system based on gray projection algorithm [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(8):1268-1271.
汪小勇,李奇,徐之海,等.用于实时数字稳像的灰度投影算法研究[J]. *光子学报*, 2006, **35**(8):1268-1271.
- [5] JING Xuan, CHAU L P. An efficient three-step search algorithm for block motion estimation[J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2004, **6**(3):435-438.
- [6] JIA Hong-iun, ZHANG Li. A new cross diamond search algorithm for block motion estimation[C]. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 2004, **3**:357-360.

- [7] LUO Jian-cong, ISHFAQ AHMAD, LUO Xi-zhang. An adaptive cross search algorithm for block matching motion estimation[C]. *ICCCAS 2004*, 2004, **2**:914-918.
- [8] XU Wei, WANG Shuo-zhong. Measurement of vehicle speed based on harris corner detector[J]. *Journal of Image and Graphic*, 2006, **11**(11):1650-1652.
徐伟,王朔中. 基于视频图像 Harris 角点检测的车辆测速[J]. *中国图象图形学报*, 2006, **11**(11):1650-1652.
- [9] XIE Lang, YANG Yan, CAO Yang, *et al.* An improved three-step search algorithm for block motion estimation[J]. *J Wuhan Univ(Nat Sci Ed.)*, 2005, **51**(5):625-628.
谢琅,杨艳,曹阳,等. 一种改进的三步搜索块运动估计算法[J]. *武汉大学学报(理学版)*, 2005, **51**(5):625-628.
- [10] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector [C]. *Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference*, 1988.
- [11] CAO Xiao-guanq, XU Lin, YU Wen-xia. Point matching algorithm with high accuracy based on corner detection[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2006, **27**(6):1269-1271.
曹晓光,徐琳,郁文霞. 基于角点检测的高准确度点匹配算法[J]. *仪器仪表学报*, 2006, **27**(6):1269-1271.
- [12] LIU Ya-xuan, SU Xiu-qin, WANG Ping. Image matching base on local projection entropy[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1):105-108.
刘雅轩,苏秀琴,王萍. 一种基于局部投影熵的图像匹配新算法. [J]. *光子学报*, 2004, **33**(1):105-108.
- [13] ZHU Juan-juan, GUO Bao-long, FENG Zong-zhe. An electronic image stabilizing method based on projection algorithm[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **33**(8):1266-1299.
朱娟娟,郭宝龙,冯宗哲. 一种基于灰度投影算法的电子稳像方法[J]. *光子学报*, 2005, **33**(8):1266-1299.

A Stabilized Harris Confidence Based 3SS of Digital Video Stabilizing Method

ZHANG Yan-ning, ZHANG Xin-gong, ZHU Yu, YANG Tao, ZHANG Xiu-wei
(School of Computer Science, Northwest Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: A SHC confidence based on 3SS of digital video stabilizing method is proposed. The 3SS is used to compute the motion parameter between the standard frame and the current frames, and the SHC confidence is applied to restrict the result of 3SS, aiming at the improvement of motion parameter accuracy. The method is proved to be effective and workable on a 320×240 in-vehicle motion video with ± 40 pixels fluttering.

Key words: Digital image stabilizing; Stabilized harris corner; Block match; 3-step search



ZHANG Yan-ning was born in 1967. She received the Ph. D. degree from Northwestern Polytechnical University in 1996. Now she is a Ph. D. degree supervisor at the same university.