

基于图像质量约束的无序图像关键帧提取

郑 恩, 林靖宇

(广西大学 电气工程学院, 南宁 530004)

摘 要: 针对采集的无序图像存在图像信息冗余、模糊, 不能满足特征检测、目标识别、三维重建等技术质量要求的问题, 基于图像质量约束, 提出一种无序图像关键帧提取方法。采用不预设 K-均值的聚簇算法对无序图像进行自动聚簇。根据相似距离从每簇中提取出离聚簇中心最近的一帧作为关键帧。运用二次模糊处理算法对提取的关键帧进行无参考图像质量评价, 其评价值若满足质量要求则保留, 否则返回原来的簇中重新进行关键帧的提取与评价, 直到提取的关键帧满足质量要求为止。实验结果表明, 该方法能较好地滤除冗余图像, 提取出满足质量要求的关键帧。

关键词: 无序图像; 三维重建; 关键帧提取; 聚簇算法; 二次模糊

中文引用格式: 郑 恩, 林靖宇. 基于图像质量约束的无序图像关键帧提取[J]. 计算机工程, 2017, 43(11): 210-215.

英文引用格式: ZHENG En, LIN Jingyu. Disordered Image Key Frame Extraction Based on Image Quality Constraint[J]. Computer Engineering, 2017, 43(11): 210-215.

Disordered Image Key Frame Extraction Based on Image Quality Constraint

ZHENG En, LIN Jingyu

(College of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

[Abstract] For the random images, there are problems of redundant and blur image information, which cannot meet the technical requirements in terms of feature detection, target recognition and 3D reconstruction, based on image quality constraint, this paper proposes a disordered image key frame extraction method. The clustering algorithm without presetting K-means is used for automatic clustering of disordered images. According to the similar distance, the frame, being closest to the clustering center from each clustering, are extracted as the key one. The quadratic blur processing algorithm is adopted to evaluate the extracted key frames for non-reference image quality. If the evaluation values are in accordance with quality requirements, the frames will be reserved. Otherwise, returns to the original cluster, extracts and evaluates the key frame again until the extracted frames meet the quality requirements. Experimental results show that the proposed method can filter out redundant images and extract the key frames satisfying the quality requirements.

[Key words] disordered image; 3D reconstruction; key frame extraction; clustering algorithm; quadratic blur

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.11.034

0 概述

数字图像是信息处理领域中主要的信息媒体表现形式。大部分获取的数字图像是无序图像, 具有数目众多、信息冗余量大、质量参差不齐的特点, 因此信息处理面临的问题已经不再是缺少数字图像的内容, 而是如何根据数字图像的数据特性有效地提取出所需的数据, 这就是关键帧提取技术。关键帧也叫代表帧, 代表数字图像主要内容的一幅或多幅图像, 对无序图像进行关键帧提取可以大大减少数据的处理量。

通常采用聚簇技术, 通过某种聚簇算法把图像聚为若干簇, 从每簇中提取一幅图像作为关键帧。提取出的关键帧通常用于三维重建、特征检测、目标识别等技术中。无序图像在获取过程中由于对焦不准或物体运动, 很难避免图像失真和降质, 如果图像质量差则不能满足三维重建、特征检测、目标识别等技术上的应用, 因此对关键帧进行质量评价尤其重要^[1-3]。之前的研究者关注的重点是如何从无序图像中提取出关键帧, 很少对关键帧的质量进行评价, 提取出的关键帧质量好坏是未知的, 把图像质量评价算法纳入到无序图像关键帧提取中, 对关键帧进

基金项目: 国家自然科学基金(61561005, 61271445); 广西科技攻关计划项目(桂科攻 1598008-1)。

作者简介: 郑 恩(1988—), 男, 硕士研究生, 主研方向为数字图像处理、三维重建; 林靖宇(通信作者), 教授。

收稿日期: 2016-10-21 **修回日期:** 2016-12-14 **E-mail:** jylin@gxu.edu.cn

行图像质量评价研究具有重要的现实意义^[4-6]。

基于聚簇的关键帧提取和图像质量评价算法受到越来越多的研究者关注,并且已取得许多研究成果。文献[7]提出一种聚簇与主成分分析结合的关键帧提取方法,采用 K-均值聚簇算法,但是簇的数目 K 是预先指定的。文献[8]提出了一种无监督聚簇的关键帧提取方法,采用无监督聚簇算法进行关键帧提取,其簇的数目也必须是预先指定的。以上聚簇算法存在共同的不足之处是关键帧的数目无法自动确定,必须预先指定关键帧的数目 K,具有一定的盲目性,给关键帧提取带来不便。文献[9]提出基于同一幅图像,不同模糊之间差异的评价算法。文献[10]提出一种基于离散余弦变换(Discrete Cosine Transform, DCT)域纹理结构相似度的模糊图像质量评价方法。文献[11-12]提出利用模糊图像的平均功率谱和局部结构张量的方法,但是应用有限,且计算复杂度也比较大。

针对以上算法的不足,本文提出一种基于图像质量约束的关键帧提取算法,通过滤出信息冗余、质量差的图像,提取出能代表无序图像关键内容且质量高的关键帧。

1 算法整体描述

本文算法描述如下:1)从不同角度、位置对目标物体采集 N 张无序图像(本文选取 5 个场景,每个场景采集 6 幅共计 30 幅图片进行实验);2)采用不预先设定 K-均值的聚簇算法对采集的无序图像进行聚簇处理,求取任意 2 幅图像的相似距离,如果 2 幅图像的相似距离小于某一阈值 T,则把 2 幅图像聚为一簇,否则 2 幅图像不在同一簇中,根据聚簇算法把无序图像自动聚成若干簇;3)求取每一簇的聚簇中心,从每个簇中把与聚簇中心相似距离最小的一帧图像作为该簇的关键帧提取出来;4)对提取出来的关键帧进行图像质量评价,如果评价值满足特定的质量指标要求则保留作为关键帧,不满足则删除该帧,然后返回原来的簇中重新提取和评价,直到提取出的关键帧满足质量要求为止。关键帧提取流程如图 1 所示。

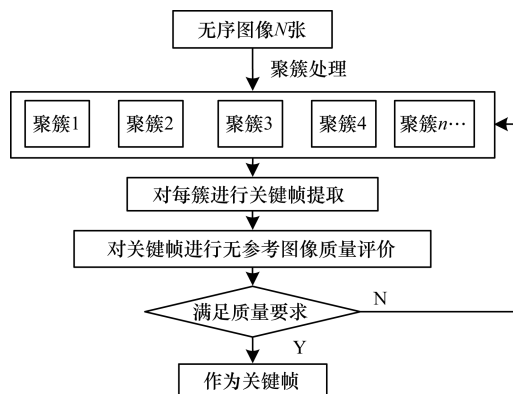


图 1 关键帧提取算法流程

2 无序图像关键帧提取算法

2.1 不预设 K-均值的聚簇算法

在无序图像关键帧提取过程中,往往需要提取图像的纹理特征实现图像到数据的转变,但要达到无序图像关键帧提取的目的,必须与一定的技术和算法相结合,才能降低因无序图像数据量大产生的影响。聚类技术在这方面具有很好的实用性,尤其对于较大的图像数据库来说,先采用某种聚类算法,把图像库中的图像进行分类,在此基础上提取关键帧会使计算量大大减少。

传统的 K-均值聚簇算法需要预先设定 k 值的大小,即把采集的无序图像取出 k 张图像作为 k 个簇的初始聚簇中心,从剩余图像中任意抽取一张计算与 k 个簇的聚簇中心的相似距离,寻找与该张图像相似距离最小的簇作为该张图像的归属,每个簇中每增加一幅图像都需重新计算簇的聚簇中心,依此计算下一张剩余图像的归属。传统方法取出的 k 个图像具有随机性,如果每次抽取的 k 张图像不同,那么聚簇结果也就不同,传统方法的应用有一定的局限性。本文采用不需预先设定 k 值的聚簇算法则不需要预先取出 k 张图像, k 值的大小根据图像的内容自动决定,具体算法过程介绍如下:

首先把每幅图像划成 M 块(本文令 $M = 16$ ^[8]),提取每块图像的纹理特征均值 m_l , 方差 e_l^2 :

$$m_l = E(X_l) = \frac{1}{D^2} \sum_{i=0}^{D-1} \sum_{j=0}^{D-1} x_l(i, j), l = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

$$e_l^2 = E[(X_l - E(X_l))^2] = \frac{1}{D^2} \sum_{i=0}^{D-1} \sum_{j=0}^{D-1} [x_l(i, j) - E(X_l)]^2, l = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

其中, D 是每块的行数和列数, l 表示图像块的标号, $x_l(i, j)$ 是图像块中的像素值。

把 16 小块图像的纹理特征均值、方差组合起来作为一幅图像的特征向量:

$$\mathbf{F} = [m_1, e_1^2, m_2, e_2^2, \dots, m_M, e_M^2] \quad (3)$$

然后,对特征向量进行归一化处理,设原始向量 $[f_1, f_2, \dots, f_M]$, 其中 $f_i = m_i$, 归一化公式为:

$$F_i = \frac{f_i - m}{e}, i = 1, 2, \dots, M \quad (4)$$

其中, e、m 为原始特征向量的标准差和均值,归一化后的特征向量为 $[F_1, F_2, \dots, F_M]$ 。现列举 2 幅图像归一化后的特征向量: $\mathbf{F}_a = [F_{a1}, F_{a2}, \dots, F_{aM}]$ 和 $\mathbf{F}_b = [F_{b1}, F_{b2}, \dots, F_{bM}]$, 2 帧之间相似距离可以表示为:

$$\text{dist}(\mathbf{F}_a, \mathbf{F}_b) = \left[\sum_{i=1}^M (F_{ai} - F_{bi})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

阈值 T 是任意 2 张无序图像相似距离之和的平均值,其计算公式为:

$$T = \left[\frac{1}{N \times (N-1)} \sum_{i \neq j}^N \text{dist}(F_i, F_j) \right] \quad (6)$$

其中, N 为无序图像的数目,相似距离表征 2 幅图像内容的相似程度的物理量,如果 2 幅图像的相似距离小于阈值 T ,则 2 幅图像在同一簇中,否则不在同一簇中。

不预先设定 k 值的聚簇算法步骤如下:

1) 获取第 1 帧图像 F_1 , 将其划分到簇 K_1 中, 并将第 1 帧图像 F_1 作为簇 K_1 的聚簇中心。

2) 获取下一帧图像 $F_i (i = 2, 3, \dots, N)$, 其中, N 为无序图像数。

3) 根据公式 $\text{dist}(F_a, F_b) = \left[\sum_{i=1}^M (F_{ai} - F_{bi})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$, 计算 F_i 与已得到簇 $K_j (j = 1, 2, \dots, N_c)$ 的聚簇中心的相似距离 $\text{dist}(F_i, K_{jc})$, 其中 K_{jc} 为簇 K_j 的聚簇中心, 计算 F_i 与聚簇中心 K_{jc} 的最小相似距离 $\text{mindist}(F_i, K_{jc})$, 如果 $\text{mindist}(F_i, K_{jc}) \leq T$, 则把 F_i 划分到具有 $\text{mindist}(F_i, K_{jc})$ 值的簇 K_j 中, 并且计算该簇新的聚簇中心, 新的聚簇中心为该簇中所有无序图像归一化后特征向量之和除以该簇中无序图像的数目。

4) 如果 $\text{mindist}(F_i, K_{jc}) > T$, 则说明 F_i 与已存在的任何一个簇都不相似, 则把 F_i 划分到另一个新的簇中。

5) 根据步骤 2) ~ 步骤 4) 将所有的无序图像划分到不同的簇 $K_j (j = 1, 2, \dots, N_c)$ 中。

根据不预先设 k 值的聚簇算法把 N 张无序图像聚成若干簇, 从每个簇中提取出距离聚簇中心最近的图像作为这个簇的代表帧, 所有簇的代表帧构成整个无序图像的关键帧。

2.2 无参考图像质量评价

随着信息技术和电子技术的迅速发展, 数字图像在人们生活中无处不在。图像在获取、传输、储存等过程中, 由于传输介质和成像系统的不完善, 加之对焦不准或物体运动, 很难避免图像发生失真和降质, 严重影响了图像的理解和分析。因此, 有效地评价图像质量已成为图像处理领域极其重要且亟待解决的问题^[13-14]。

在众多评价方法中主观评价方法是最准确的, 但是无法建立数学模型, 且只可以测有限的图像数目, 主观性太强不可定量去测, 而且费时费力, 不适合实时应用。客观图像评价方法根据有无原始图像信息分为无参考、半参考、全参考 3 种图像质量评价方法。半参考、全参考图像质量评价方法需要原始图像部分或全部特征作为参考量与失真图像进行质量比较。然而在许多

情况下原始图像信息是无法获得的, 因此需要对无参考图像质量评价开展研究^[15]。

一般图像质量差主要是因为模糊, 模糊图像相邻像素之间差值变化比较小。清晰图像细节丰富, 质量优良, 相邻像素之间差值变化比较大, 根据这个原理对提取的关键帧图像进行二次模糊处理(本文采用低通滤波处理), 比较滤波前后相邻像素差值的变化大小来衡量图像的清晰程度。无参考图像质量评价流程如图 2 所示。

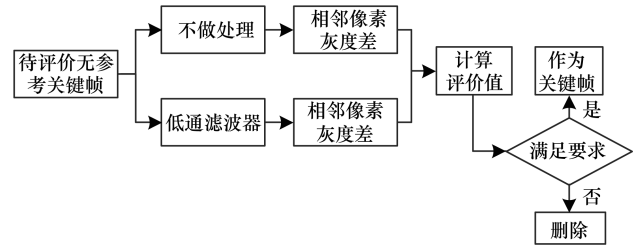


图 2 无参考图像质量评价流程

无参考图像质量评价步骤如下:

1) 以图像 F_k 为例对其进行二次模糊处理得到模糊图像 b :

$$b_v = h_v \times F_k \quad (7)$$

$$b_h = h_h \times F_k \quad (8)$$

$$h_v = \frac{1}{9} \times [111111111] \quad (9)$$

$$h_h = (h_v)^T = h_v \quad (10)$$

其中, b_v, b_h 为图像 F_k 经过垂直、水平低通滤波后得到的模糊图像; h_h, h_v 为滤波器的垂直和水平模型。

2) 分别计算图像 F_k 滤波前垂直方向相邻像素绝对误差 $Df_v(i, j)$ 、水平方向绝对误差 $Df_h(i, j)$ 和滤波后图像 b 垂直方向相邻像素绝对误差 $Db_v(i, j)$ 、水平方向绝对误差 $Db_h(i, j)$, 相邻像素差值的变化公式如下:

$$DF_v(i, j) = |F_k(i, j) - F_k(i-1, j)| \quad (11)$$

$$DF_h(i, j) = |F_k(i, j) - F_k(i, j-1)| \quad (12)$$

$$Db_v(i, j) = |b_v(i, j) - b_v(i-1, j)| \quad (13)$$

$$Db_h(i, j) = |b_h(i, j) - b_h(i, j-1)| \quad (14)$$

3) 步骤 1)、步骤 2) 都是针对像素点的运算, 要想获得整幅图像的差异, 则需要对整幅图像中相邻像素的差进行求和。

$$sf_v = \sum_{i,j=1}^{m-1, n-1} DF_v(i, j) \quad (15)$$

$$sf_h = \sum_{i,j=1}^{m-1, n-1} DF_h(i, j) \quad (16)$$

$$sb_v = \sum_{i,j=1}^{m-1, n-1} Db_v(i, j) \quad (17)$$

$$sb_h = \sum_{i,j=1}^{m-1, n-1} Db_h(i, j) \quad (18)$$

归一化得:

$$bF_V = \frac{sF_V - sb_V}{sF_V} \quad (19)$$

$$bF_H = \frac{sF_H - sb_H}{sF_H} \quad (20)$$

$$Clear = \max(bF_V, bF_H) \quad (21)$$

其中, $Clear$ 为图像质量评价,其取值范围为 $(0, 1)$, $Clear$ 值越大则表示关键帧图像越清晰,值越小则关键帧图像越模糊。如果提取的关键帧满足质量指标要求则作为关键帧,不满足则删除,然后返回原来的簇中重新提取关键帧和评价,直到提取出满足质量要求的关键帧为止。

3 实验结果及分析

为测试本文算法的性能,采集 5 个场景,每个场景取 6 幅共 30 幅无序图像进行实验,图像尺寸大小为 $640 \text{ 像素} \times 480 \text{ 像素}$,水平分辨率为 96 dpi ,垂直分辨率为 96 dpi ,位深度为 24,无序图像列表如图 3 所示。给出 30 幅无序图像,对每幅图像划分为 4×4 块,对每块提取出一个特征向量值作为该块的纹理特征,每幅图像可提取出 16 个特征向量值。如表 1 是对应 30 幅图像特征向量值输出结果,根据式(6)求得 30 幅无序图像的阈值 $T = 46.5$ 。



图 3 无序图像

从表 1 中的输出结果可以发现一个规律:从纵向看,每幅图像的特征向量值之间变化不大,浮动范围在 $(0, 5)$ 之间。从横向看,属于同一场景的图像(例如 1, 5, 9, 11, 20, 25)之间的特征向量值变化比较小,不属于同一场景的图像特征向量值变化比较大。根据这一规律发现,同一场景中图像之间的相似距离比较小(例如: $\text{dist}(F_1, F_5) = 5.7$),远小于阈值 T ,而不在同一场景的图像相似距离($\text{dist}(F_1, F_2) = 106.2$)远大于阈值 $T(46.5)$,因此对无序图像进行聚簇处理将会得到更好的效果。

表 1 无序图像特征向量值

序号	图像 1	图像 2	图像 3	图像 4	...	图像 28	图像 29	图像 30
1	51.6	24.9	33.3	17.43	...	34.0	17.30	38.05
2	51.0	23.5	34.2	17.38	...	34.3	17.31	38.12
3	48.8	23.9	33.8	16.79	...	34.7	16.24	38.73
4	49.1	24.4	33.5	16.28	...	33.9	17.11	38.25
5	52.4	24.7	33.7	17.03	...	33.7	16.46	39.73
6	50.9	22.8	33.9	16.77	...	34.5	17.72	39.76
7	50.3	22.9	33.6	15.70	...	34.6	16.52	40.32
8	49.2	24.4	33.5	15.44	...	33.8	17.88	39.09
9	50.8	24.3	33.5	16.63	...	34.2	18.38	40.59
10	50.8	24.0	33.5	16.97	...	34.0	15.75	40.98
11	50.6	24.1	33.2	16.53	...	34.6	18.76	41.95
12	50.5	24.2	34.4	15.52	...	33.3	17.26	41.17
13	50.4	24.8	34.6	17.25	...	33.8	17.00	40.95
14	50.1	24.7	33.8	17.39	...	34.4	16.78	41.05
15	50.9	24.1	33.5	17.69	...	34.3	16.02	41.44
16	50.6	24.5	33.7	17.29	...	33.7	17.32	41.31
向量均值	50.6	24.6	33.8	16.76	...	34.0	16.92	40.09

采用不预先设 K -均值的聚簇算法对 30 幅无序图像进行聚簇处理,如果 2 幅图像相似距离小于阈值 T ,则划为一簇;否则开辟一个新簇,聚簇结果如图 4 所示。

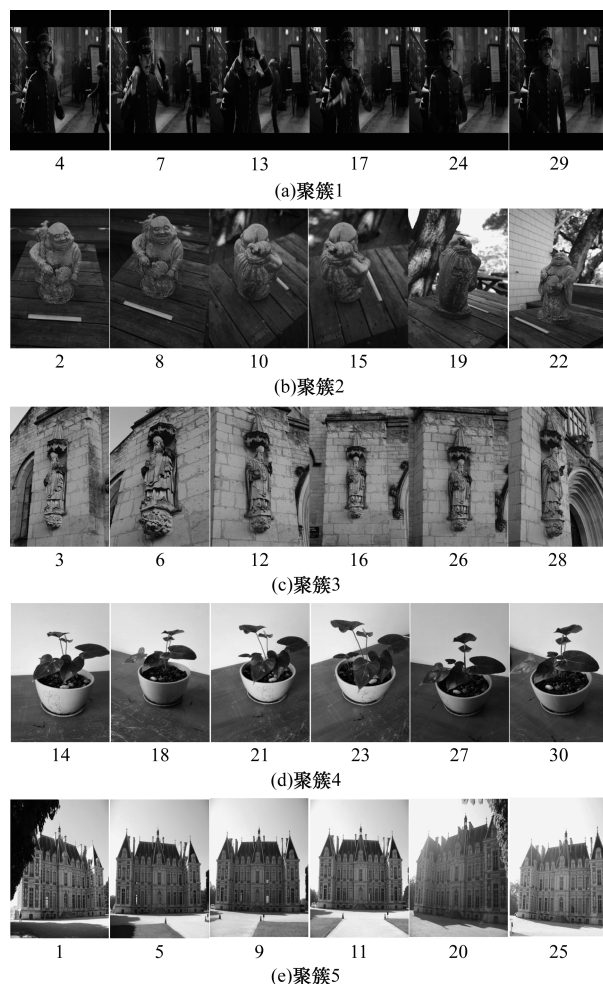


图 4 无序图像聚簇结果

如图 4 的聚簇结果为 5 个簇,每个簇中有 6 幅图像,这 30 幅图像的特征向量值在 Matlab 中的输出结果如图 5 所示。

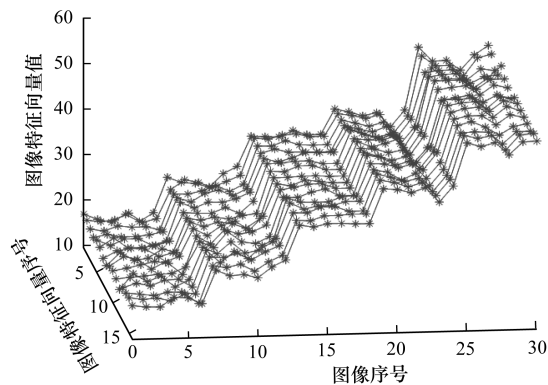


图 5 16 幅图像特征向量分布

如图 4、图 5 所示,对 30 幅无序图像的特征向量进行输出归纳分析:图像 1~图像 6 标号为聚簇 1,图像 7~图像 12 为聚簇 2,图像 13~图像 18 为聚簇 3,图像 19~图像 24 为聚簇 4,图像 25~图像 30 为聚簇 5,发现相邻簇之间的特征向量值呈阶梯状分布,每个簇中,6 幅图像的特征向量值变化很小,每个簇中的 6 幅图像属于同一场景,特征向量值大小接近,浮动比较小,因此相似距离远小于阈值 T 。本文提出的不设 K -均值的聚簇算法可以很好地把同一场景中的图像聚为一簇。

从每个簇中进行关键帧提取,把离聚簇中心最近的一帧作为关键帧提取出来,对提取的关键帧进行图像质量评价,关键帧提取结果如图 6 所示,图像质量评价结果如表 2 所示。

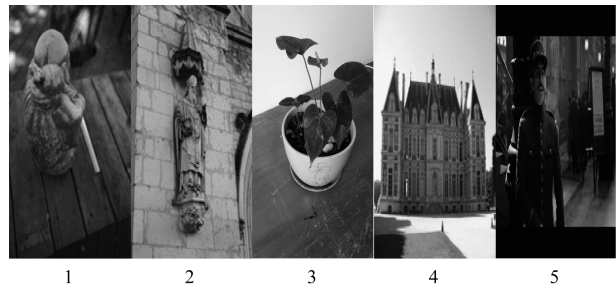


图 6 关键帧提取结果

表 2 关键帧评价价值

图像评价指标	关键帧 1	关键帧 2	关键帧 3	关键帧 4	关键帧 5
水平评价价值	0.43	0.27	0.45	0.47	0.40
垂直评价价值	0.47	0.17	0.41	0.50	0.41
Clear	0.47	0.27	0.45	0.50	0.41

本文算法对关键帧进行无参考图像质量评价,关键帧质量优劣需要一个客观的参考值,这个参考值需要采用国际标准图像测试求得。本文采用 University of Oxford 的 VGG 组 The Oxford Building Dataset 和 Herve Jegou 研究所提供的 INRIA Holidays dataset,从其中各抽出 5 幅细节丰富、质量

优良的图像,标准测试图像如图 7 所示。求每幅图像质量的评价值,质量评价结果如表 3 所示。

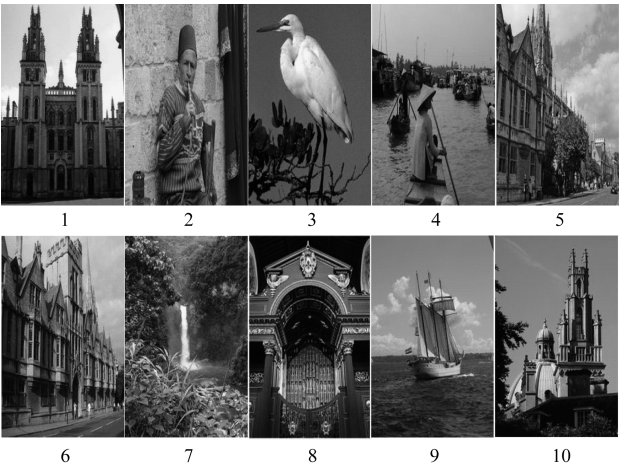


图 7 10 幅标准测试图像

表 3 10 幅标准图像质量评价结果

图像评价指标	图像 1	图像 2	...	图像 9	图像 10
水平评价价值	0.39	0.58	...	0.52	0.48
垂直评价价值	0.42	0.40	...	0.41	0.43
Clear	0.42	0.58	...	0.52	0.48

求取表 3 中 10 幅图像质量评价值的平均值为 0.499,此平均值表示的是标准图像的质量,如果用此平均值作为参考值,一般图像质量很难达到,需要乘以一个因子 0.7, $0.499 \times 0.7 = 0.35$ 作为关键帧质量评价的参考值(质量指标),如果关键帧的质量评价值低于这个参考值,则删除这个关键帧,然后返回原来的簇中重新提取关键帧和评价,直到提取出关键帧的质量评价值大于参考值 0.35 为止。

从表 2 中发现,关键帧 1 的质量评价值为 0.27,小于参考值 0.35,图像质量相对比较差(本幅图像景深比较浅,前景清晰,则整个背景模糊,整体质量比较差),不能满足质量指标要求,则删除关键帧 1,返回原来的簇 1 中重新提取关键帧。其他图像质量评价价值大于参考值,质量比较优良,不需要重新提取,则重新提取关键帧如图 8 所示,图像质量评价结果如表 4 所示。

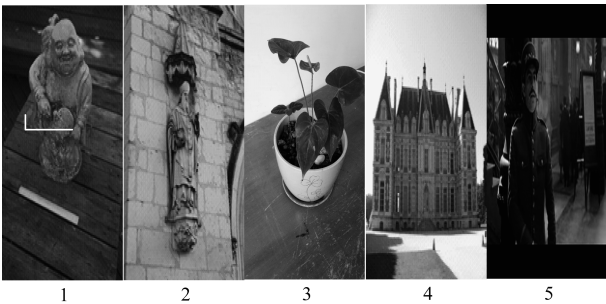


图 8 关键帧重新提取结果

表 4 关键帧重新评价结果

图像评价指标	关键帧 1	关键帧 2	关键帧 3	关键帧 4	关键帧 5
水平评价值	0.43	0.52	0.48	0.47	0.40
垂直评价值	0.47	0.36	0.39	0.50	0.41
Clear	0.47	0.52	0.48	0.50	0.41

在表 4 中,重新提取的关键帧 1 质量评价值大于标准参考值 0.35,图像质量比较高,能满足质量指标要求,可作为无序图像的关键帧。

4 结束语

本文提出一种基于图像质量约束的无序图像关键帧提取方法。该方法采用不预先设定 K-均值的聚簇算法进行聚簇,与传统方法最大的不同是该方法可以根据无序图像的内容自动进行聚簇,不需要预先指定 k 值,其次从每簇中提取出离聚簇中心最近的一帧作为关键帧,然后对提取的关键帧进行无参考图像质量评价。实验结果表明,本文提出的基于图像质量约束的关键帧提取方法,提取出的关键帧能够较好地代表无序图像的主要内容,关键帧清晰、图像质量优良,可以满足图像在特征检测、目标识别、三维重建等技术上的应用。下一步将采用本文方法对室外大场景对象进行三维重构,选取高质量的关键帧图像。

参考文献

- [1] 王志明. 无参考图像质量评价综述[J]. 自动化学报, 2015, 41(6): 1062-1079.
- [2] WANG Yongxiong, SUN Shuxin, DING Xueming. A Self-adaptive Weighted Affinity Propagation Clustering for Key Frames Extraction on Human Action Recognition[J]. Journal of Visual Communication & Image Representation, 2015, 33(3): 193-202.
- [3] LIU Huayong, HAO Huifen. Key Frame Extraction Based on Improved Hierarchical Clustering Algorithm[C]// Proceedings of the 10th International Conference on

Natural Computation. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2014: 793-797.

- [4] 李俊峰. 基于 RGB 色彩空间自然场景统计的无参考图像质量评价[J]. 自动化学报, 2015, 41(9): 1601-1615.
- [5] 田金沙, 韩永国, 吴亚东, 等. 基于尺度不变性的无参考图像质量评价[J]. 计算机应用, 2016, 36(3): 789-794.
- [6] 李顺意, 侯进, 甘凌云. 基于帧间距的运动关键帧提取[J]. 计算机工程, 2015, 41(2): 242-247.
- [7] 许文竹, 徐立鸿. 结合主成分分析和聚类的关键帧提取[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(15): 9-10.
- [8] 李全栋, 陈树越, 张微. 一种改进的无监督聚类的关键帧提取算法[J]. 应用光学, 2010, 31(5): 741-744.
- [9] CRETE F, NICOLAS M. The Blur Effect: Perception and Estimation with a New No-reference Perceptual Blur Metric[C]// Proceedings of International Society for Optical Engineering. Berlin, Germany: Springer, 2007: 6492-6502.
- [10] 王威, 刘婧, 杨蔚蔚, 等. 基于 DCT 域纹理结构相似度的模糊图像质量评价[J]. 计算机工程, 2015, 41(11): 253-256.
- [11] ZHANG Yan, AN Ping, ZHANG Qiuwen, et al. A No-reference Image Quality Evaluation Based on Power Spectrum[C]// Proceedings of Conference on Capture, Transmission and Display of 3D Video. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2011.
- [12] 邵宇, 孙富春, 刘莹. 基于局部结构张量的无参考型图像质量评价方法[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(8): 1779-1785.
- [13] LI Yumin, PO Laiman, XU Xuyuan, et al. No-reference Image Quality Assessment Using Statistical Characterization in the Shearlet Domain[J]. Image Communication, 2014, 29(7): 748-759.
- [14] LIU Lixiong, LIU Bao, HUANG Hua, et al. No-reference Image Quality Assessment Based on Spatial and Spectral Entropies[J]. Signal Processing Image Communication, 2014, 29(8): 856-863.
- [15] 李鸿林, 张琦, 杨大伟. 无参考模糊图像质量评价改进算法[J]. 计算机应用, 2014, 34(3): 797-800.

编辑 顾逸斐

(上接第 209 页)

- [11] 王欣, 张明明, 于晓, 等. 应用改进迭代最近点方法的点云数据配准[J]. 光学·精密工程, 2012, 20(9): 2068-2077.
- [12] 朱延娟, 周来水, 张丽艳. 散乱点云数据配准算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(4): 475-481.
- [13] 杨小青, 杨秋翔, 杨剑. 基于法向量改进的 ICP 算法[J]. 计算机工程与设计, 2016, 37(1): 169-173.

- [14] 王奎武, 陈发来, 陈意云. 基于点表示的曲面曲率计算方法[J]. 小型微型计算机系统, 2005, 26(5): 813-817.
- [15] FARHAN E, HAGEGE R. Geometric Expansion for Local Feature Analysis and Matching[J]. Siam Journal on Imaging Sciences, 2015, 8(4): 2771-2813.

编辑 刘冰