

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2013  
Vol.18 No.

1

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2013年1月 第18卷 第1期(总第201期)

## 目次

### 综述

- 正面人脸图像合成方法综述 ..... 赵林, 高新波, 田春娜(1)  
SAR 图像道路网提取方法综述 ..... 程江华, 高贵, 库锡树, 孙即祥(11)

### 图像处理和编码

- 头部缺失的 JPEG 文件碎片恢复 ..... 徐明, 黄立, 张海平, 徐建, 郑宁(24)  
安全高效的可撤销指纹模板构造 ..... 喻建平, 张鹏, 王瑶, 杨懿竣(36)  
基于残差的图像超分辨率重建 ..... 陈华华, 姜宝林, 刘超, 陈伟强, 陆宇, 张嵩(42)  
旋转的 Wang Tiles 纹理合成算法 ..... 王继东, 庞明勇, 赵瑞斌(49)  
基于圆形约束快速水平集的原生质体细胞分割 ..... 王晓飞, 庞全(55)

### 图像分析和识别

- 采用压缩传感的鲁棒的视频指纹方案 ..... 孙锐, 李超, 蒋飞云(62)  
基于图像显著性的路面裂缝检测 ..... 徐威, 唐振民, 吕建勇(69)  
基于局部熵的主动轮廓模型 ..... 潘改, 高立群, 赵爽(78)  
基于算子的图像分解 ..... 李峰, 曾晓辉, 陈盛霞, 沈玉娟(86)

### 图像理解和计算机视觉

- 中值流辅助在线多示例目标跟踪 ..... 王德建, 张荣, 尹东, 张智瑞(93)  
四叉树直方图的特殊方向关系表达 ..... 张珂, 王小捷, 靳越(101)

### 计算机图形学

- 协同进化的近似规则纹理合成 ..... 王相海, 陶兢喆(107)  
反走样直线的灰度循环生成算法 ..... 牛连强, 张胜男, 钟玲(115)

### 地理信息技术

- 微博客蕴含交通信息的提取 ..... 张恒才, 陆锋, 陈洁(123)

- 
- “计算机视觉前沿论坛”专栏征文通知 ..... (130)

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 18 No. 1 January 2013

## Contents

### Review

- Review of frontal face image synthesis methods ..... Zhao Lin, Gao Xinbo, Tian Chunna(1)  
Review of road network extraction from SAR images ..... Cheng Jianguhua, Gao Gui, Ku Xishu, Sun Jixiang(11)

### Image Processing and Coding

- Rrecovery method for JPEG file fragments with missing headers  
..... Xu Ming, Huang Li, Zhang Haiping, Xu Jiang, Zheng Ning(24)  
Secure and efficient scheme to construct a cancelable fingerprint template  
..... Yu Jianping, Zhang Peng, Wang Yao, Yang Yijun(36)  
Image super-resolution reconstruction based on residual error  
..... Chen Huahua, Jiang Baolin, Liu Chao, Chen Weiqiang, Lu Yu, Zhang Song(42)  
Texture synthesis using rotational Wang Tiles ..... Wang Jidong, Pang Mingyong, Zhao Ruibin(49)  
Protoplasm somatic cells segmentation based on circle dependent fast level-set segmentation ..... Wang Xiaofei, Pang Quan(55)

### Image Analysis and Recognition

- Robust video fingerprinting via compressed sensing ..... Sun rui, Li Chao, Jiang Feiyun(62)  
Pavement crack detection based on image saliency ..... Xu Wei, Tang Zhenmin, Lv Jianyong(69)  
Active contour model driven by local entropy energy ..... Pan Gai, Gao Liqun, Zhao Shuang(78)  
Operator-based image decomposition ..... Li Feng, Zeng Xiaohui, Chen Shengxia, Shen Yujuan(86)

### Image Understanding and Computer Vision

- Median flow aided online multi-instance learning visual tracking ..... Wang Dejian, Zhang Rong, Yin Dong, Zhang Zhirui(93)  
Expression of special directional relation based on quadtree histogram ..... Zhang Ke, Wang Xiaojie, Jin Yue(101)

### Computer Graphics

- Fast near-regular texture synthesis based on the concept of co-evolution ..... Wang Xianghai, Tao Jingzhe(107)  
Integral algorithm for generating anti-aliased straight line controlled by gray iteration  
..... Niu Lianqiang, Zhang Shengnan, Zhong Ling(115)

### Geoinformatics

- Extracting traffic information from massive micro-blog messages ..... Zhang Hengcai, Lu Feng, Chen Jie(123)

中图法分类号: TN931.3 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)01-0062-07

论文引用格式: 孙锐, 李超, 蒋飞云. 采用压缩传感的鲁棒的视频指纹方案[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(1): 62-68.

## 采用压缩传感的鲁棒的视频指纹方案

孙锐, 李超, 蒋飞云

合肥工业大学计算机与信息学院, 合肥 230009

**摘要:** 视频指纹技术在视频检索、识别、安全等领域有着广泛的应用, 提出一种基于压缩传感理论的鲁棒性视频指纹方法, 该方法采用压缩传感的稀疏性和安全性对提取的视频关键帧进行采样, 再对采样矩阵分块与分类, 提取能量值大的一些子块构成新的特征矩阵。对特征矩阵使用奇异值分解, 对较大奇异值量化编码生成指纹。同时, 也提出了高效的两步匹配方案, 通过粗精两步搜索对视频进行检索, 提高了视频搜索速度, 实验结果表明, 能准确检测视频片段, 对通常的视频处理具有较强鲁棒性, 满足视频检索的实时要求。

**关键词:** 压缩传感; 视频指纹; 视频识别; 奇异值分解

### Robust video fingerprinting via compressed sensing

Sun rui, Li Chao, Jiang Feiyun

School of Computer and information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

**Abstract:** Video fingerprinting techniques have many applications in video retrieval, identification, and security. A robust video fingerprinting based on compressed sensing is proposed. In video fingerprinting, video key clips extracted are sampled by using the sparse and safety of compressed sensing. Each matrix sample is made into blocks, from which several big energy blocks are made into a new feature matrix. The singular value is used as code for the fingerprinting by SVD from this new feature matrix. Furthermore, an efficient two step match algorithm is proposed to using a search and match approximation, which improves video searching speed. The experimental results show that the proposed video fingerprinting is accurate in identifying different video clips, robust against common video processing, and can retrieve videos in real-time.

**Key words:** compressed sensing; video fingerprinting; video identification; singular value decomposition

## 0 引言

近年来, 随着计算机网络和多媒体技术的飞速发展, 每时每刻都产生着新的数字视频。借助于互联网, 丰富的视频资源在几乎无约束的情况下复制、传播, 使得一些有商业价值的视频变的更容易得到, 也越来越低廉。因此需要一种切实可行的方法来保

护、管理, 以至检索出视频来进行版权保护。

目前, 在所提出的方法当中, 视频指纹<sup>[1]</sup>, 一种产生唯一的“指纹”来代表一个视频文件的软件识别、提取、压缩视频的技术, 越来越受到广泛的关注。它是视频的一种感知特征, 其目的是为视频内容的识别与认证提供快速可靠的方法。在数据库里, 通过与候选视频的指纹匹配比较测量其距离, 来唯一识别和认证视频。与原视频相比, 视频指纹要小很

收稿日期: 2012-03-06; 修回日期: 2012-07-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(61001201)

第一作者简介: 孙锐(1976—), 男, 副教授, 2003年于华中科技大学获信息与通信工程专业博士学位, 主要研究方向为图像信息处理、多媒体安全、计算机视觉与模式识别。E-mail: sunziyun@yahoo.com.cn

通讯作者: 李超, E-mail: lchegongda@163.com

多,很容易在数据库中存储。视频指纹作为多媒体信息处理的支撑技术,有着重要的理论意义和实用价值,国内外学术界也很重视该领域的研究和发展,现在不仅每年有大量的论文发表,而且也建立了一些实验系统。国外的有哥伦比亚大学的 Visual-SEEK 系统、加州大学 Virage 系统,国内有清华大学研制的视频检索系统 Video Base。因为视频有着巨大的数据量,检索时,高效和低复杂度成为了检索的最大难点,而视频指纹正好迎合了这两大特征<sup>[2]</sup>。

视频指纹应该认真地选择特征抽取,因为它们会直接影响到整个视频指纹系统的性能。一般而言,视频指纹需要满足以下性质<sup>[3]</sup>:

1) 鲁棒性,视频指纹应该对各种内容失真具有鲁棒性,如亮度变化、分辨率降低、帧比例变化和标签覆盖等;

2) 可区分性,若两个视频序列是不同的,从中抽取的指纹也应该是不同的;

3) 实时性,视频指纹在数据库管理中能够快速搜寻和高效匹配。

视频指纹的高效性和低复杂度得到了国内外众多学者认可和研究,现存的视频指纹方法根据提取的特征类型分成 4 类:基于彩色空间的方法、时间域的方法、空间域的方法、时空域的方法。基于彩色空间的视频指纹,利用样本帧的彩色直方图来生成指纹并估计视频之间的相似性<sup>[4]</sup>,是早期的视频指纹方法。Liu 等人提出了一种局部彩色直方图(local color histograms)的视频签名方法。因为不同的视频格式有不同的彩色空间,同时这种方法不适用于黑白视频,所以该方法应用有一定的局限。基于时域的视频指纹,利用视频文件时间域的特征生成指纹,这类方法一般采用特征的顺序测量来形成指纹<sup>[5]</sup>。Kim 和 Vasudu 用块亮度均值的顺序测量进行视频复制检测<sup>[6]</sup>。该方法对长时间的视频段效果很好,但对不包含充分时间特征的短视频段缺乏稳健性。基于空域的视频指纹,提取视频中每帧或关键帧的特征生成指纹。理论上大部分空间域的图像指纹技术都可以扩展到视频领域,如 DCT 变换<sup>[7]</sup>、小波变换<sup>[8]</sup>、Fourier-Mellin 变换<sup>[9]</sup>等方法。视频指纹根据空间特征还能细分为全局指纹和局部指纹。全局指纹采用视频关键帧的全局统计量生成指纹, Lee 等人提出一种基于梯度方向图的质心(CGO)的视频指纹方法用于视频识别<sup>[10]</sup>。全局指纹计算速度快,但对于光线和视角变化,彩色和几何变换缺乏稳健

性,比较适合于确定视频的检索和识别,但对于视频复制检测性能欠佳。局部指纹一般采用关键帧中的局部兴趣点(LIP)形成指纹。一些局部兴趣点的提取方法如 Harris 检测器、Hessian 检测器、高斯微分(DoG)检测器等已被用于复制检测的应用<sup>[11]</sup>。基于时空域的视频指纹,是结合时域特性和空域分布特性以期达到更佳的性能,弥补了空域方法对视频时域信息的未充分利用。Esmaili 和 Fatourech 等人提出了一种基于 DCT 域的时间信息表示图像技术(TIRI-DCT)生成视频指纹<sup>[12]</sup>,具有很好的鲁棒性和可区分性。

图 1 为视频指纹方案的框架,包括 3 个部分:指纹抽取、数据库搜索、指纹匹配。鉴于已有的视频指纹方法,存在鲁棒性、高效性、低复杂度和大容量数据库难于兼容的缺点,本文视频指纹方法正好弥补了这一点。在指纹抽取阶段,利用压缩传感理论的思想<sup>[13]</sup>,将压缩和采样合并进行,对视频中提取的帧图像,利用非自适应线性投影,得到少量的投影(测量值),将图像变得稀疏或者近似稀疏,为增加处理过后帧图像的鲁棒性,再对处理后图像分块,提取其中能量大的一些块重新排列组成新图像,对新图像进行奇异值分解,并将得到的特征向量生成指纹。压缩传感理论的采用,对图像采样的数据量远小于传统方法获得的数据量,突破了香农采样定理瓶颈,使高分辨信号的采集成为可能,这也大大减少存储和传输的代价。即便受到了各种攻击,图像的稀疏块还是保留了该图像重要信息和特征,这对其安全性起到了至关重要的作用。图像的分块和奇异值的分解,增强了抵抗几何攻击和其他常规视频处理攻击的能力。最后,在指纹匹配阶段,在数据库里充分的搜寻与可疑视频相类似的库中候选视频指纹。通过选择一个合适的阈值,比较可疑视频和候选视频的距离,来标识和认证该视频。

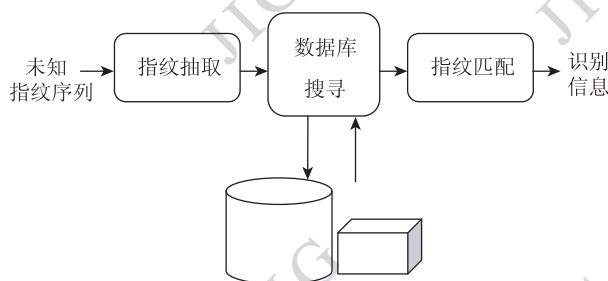


图 1 视频指纹的框架

Fig. 1 The structure of video fingerprint

## 1 压缩传感的基本理论

压缩传感(CS)的概念由 Candés 和 Donoho 等人在 2006 年正式提出,其主要思想是将压缩与采样合并进行,先采集信号的非自适应线性投影(测量值),然后测量值根据相应重构算法来重构原始信号<sup>[14]</sup>。其优点在于采样过程突破了奈奎斯特采样定理的束缚,信号重建时没有或是只有很少的信息损失,使高分辨率采集成为可能。

假定信号在某些基下可以用少量非零系数稀疏表示,设  $\mathbf{x} = \{\mathbf{x}[1], \mathbf{x}[2], \dots, \mathbf{x}[N]\}$  是离散随机过程  $\mathbf{x}$  的  $N$  个抽样值。 $\mathbf{s}$  是  $\mathbf{x}$  在  $\Psi$  邻域的表述

$$\mathbf{x} = \Psi \mathbf{s} = \sum_{i=1}^N s_i \psi_i \quad (1)$$

式中,  $\mathbf{s} = [s_1, \dots, s_N]$  是一个  $N$  矢量的加权系数,  $s_i = \langle \mathbf{x}, \psi_i \rangle$ ,  $\Psi = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N]$  是一个  $N \times N$  的矩阵,  $\psi_i$  是第  $i$  个列矢量。

对于  $K < N$ , 如果  $\mathbf{s}$  的  $N$  个系数中, 只有  $K$  个是非零的, 则矢量  $\mathbf{x}$  在  $\Psi$  领域就被看成是  $K$  稀疏的。信号的稀疏性在传统的变换编码时被用来压缩, 首先要获得整个信号, 然后通过  $\mathbf{s} = \Psi^T \mathbf{x}$  来获得  $N$  个变换系数  $\mathbf{s}$ , 其余  $\mathbf{s}$  的  $N - K$  系数被遗弃, 剩下的进行编码。由于大量的数据没有或是很少携带能量, 他们被抛弃后, 冗余度变得更严密。这正是压缩传感的思想所在, 只需要信号的  $M$  个采样值, 就能移走“采样冗余”(  $K < M \leq N$  )。定义  $\mathbf{y}$  是  $M$  长度的测量矢量,  $\mathbf{y} = \Phi \mathbf{x}$ , 式中  $\Phi$  是一个  $M \times N$  的测量矩阵。由式(1)可得到  $\mathbf{y}$  和  $\mathbf{s}$  的关系

$$\mathbf{y} = \Phi \Psi \mathbf{s} \quad (2)$$

如果设定好合适的测量矩阵  $\Phi$ , 信号  $\mathbf{x}$  就可能被无损地恢复, 所以  $\Phi$  必须满足约束等距性(RIP)<sup>[15]</sup>。

如果  $M \geq cK \log_2(N/K)$ , 则一个独立同分布的高斯矩阵  $\Phi$  对任意  $\Psi$  都满足上述性质。因此, 要想信号  $\mathbf{x}$  的  $N$  个测量值从随机的高斯测量值  $\mathbf{y}$  中恢复, 只有  $M \approx cK \log_2(N/K) < N$ , 且信号  $\mathbf{x}$  在  $\Psi$  邻域是  $K$  稀疏的。 $s_i$  的维数是否为零, 不需要提前知道, 但需要知道  $\mathbf{x}[i]$  采样值。信号  $\mathbf{x}$  的重构可以通过求解最小  $l_0$  范数问题加以解决。但最小  $l_0$  范数问题是一个 NP-hard 问题, 需要穷举  $\mathbf{x}$  中非零值的所有  $C_N^K$  种排列可能, 因此无法求解。然而, 采用  $l_1$  范数问题可以对其优化

$$\hat{\mathbf{s}} = \arg \min \|\mathbf{s}'\|_1 \quad (3)$$

$$\Phi \Psi \mathbf{s}' = \mathbf{y} \quad (4)$$

这是一个凸最优化问题, 可以转化为复杂度为  $O(N^3)$  的线性规划问题加以求解。与  $l_0$  最小范数法相比,  $l_1$  最小范数法需要多于  $K + 1$  个的测量值。由于线性规划算法的复杂性和低速性, 花费稍多点的测量值就可得到更快速的结果, 如匹配追踪算法<sup>[16]</sup>、正交匹配追踪算法<sup>[17]</sup>、群测试<sup>[18]</sup>。

由于香农采样定理的要求限制, 图像或视频的传输因数据量大而受到很大阻碍。压缩传感理论的出现, 给大数据量的图像或视频传输带来了革命性突破, 压缩传感有两个良好的性质可以很好地适应视频指纹构建的要求:

- 1) 传感压缩具有天然的降维特性, 图像数据经过变换后表现出稀疏性, 经过测量矩阵后, 可以用较少的数据表示原始图像;
- 2) 传感压缩的观测结果具有较好的随机性, 使之不用另外的步骤既可增强视频指纹的安全性。

## 2 建立基于压缩传感的指纹系统

### 2.1 指纹抽取

指纹的抽取过程, 是指纹系统建立的第 1 步, 也是本文的核心所在, 为了达到抽取的指纹能唯一表示视频的数字特征, 指纹应该适应视频的不同分辨率, 或是视频的略加修改(帧片段进行旋转、模糊、加速、减速、剪切、插入标签等)。图 2 显示了指纹抽取的全过程, 具体步骤如下:

- 1) 对输入的视频以 25 帧/s 的固定帧速率转换成帧图像, 以抵御帧比例变化的攻击<sup>[19]</sup>。
- 2) 按  $K$  帧/s 的比例从视频帧图像中提取出关键帧, 将关键帧图像全部转变成灰度图像, 使其对颜色变化有鲁棒性, 这样该指纹方法不仅能应用于彩色的视频, 而且对传统的黑白视频也同样适用。
- 3) 每一幅灰度图像规格大小被统一调整为高  $X$  宽  $Y$  的尺度。使该指纹方案对任意尺寸大小的图像有鲁棒性, 统一的规格尺度, 也为后续处理有统一的标准, 减免了图像大小不一而带来的误差。
- 4) 引用压缩传感理论, 利用式(1)将处理后的关键帧图像投影到离散小波变换基上。得到的绝大部分变化系数的绝对值很小, 所得到的变换向量  $\mathbf{s}_i$  是稀疏或者近似稀疏。
- 5) 为了更有效地提取帧图像的像素特征, 对稀

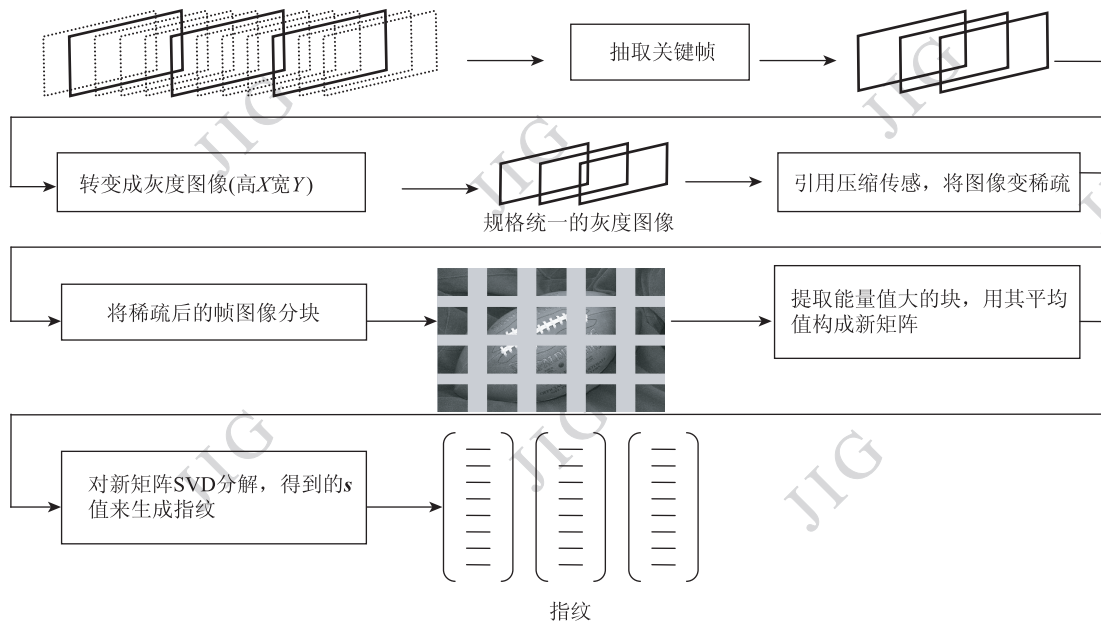


图 2 指纹抽取过程

Fig. 2 The extract procedure of fingerprint

疏矩阵  $s_i$  进行相同大小的分块,并按块能量大小对这些块进行统计排序,提取这些块中能量大的  $K$  块,因为能量大的块更多的保留了图像的特征信息,然后求出这  $K$  块平均值组成一个特征矩阵  $G = [g_1, g_2, \dots, g_i]^T$ ,式中  $g_i = [g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{ik}]$ ,  $K < N$ 。

6) 为进一步压缩数据,减少对数据的处理复杂度,对特征矩阵  $G$  进行奇异值分解(SVD)<sup>[20]</sup>

$$G = UDV^H \quad (5)$$

式中

$$D = \begin{pmatrix} \Sigma_r & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{i \times k}$$

$$\Sigma_r = \begin{bmatrix} d_1 & & & \\ & d_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & d_r \end{bmatrix} \quad (6)$$

称  $d_i, i = 1, 2, \dots, K$  为矩阵  $D$  的奇异值,即  $D_r = [\text{diag}(d_1, d_2, \dots, d_r)]$ ,是最终代表该段视频的特征描述值。

最后对  $D_r$  进行量化编码生成最终需要的指纹。编码时,本文采用的是格雷码,为了减少传输中的误码率。

### 2.2 指纹匹配和搜寻

由于视频数据库里存在着庞大的数据和信息,

这对指纹抽取和匹配造成了巨大的计算负担,所以需要提出一个有效的指纹匹配方案和数据库搜寻策略来提高匹配和检索的速度。

抽取生成的指纹是一个二元序列,传统匹配方式是计算长度为  $N$  的二段不同视频指纹的汉明距离<sup>[21]</sup>

$$H(B_1, B_2) = \frac{1}{N} \sum_N B_1 \otimes B_2 \quad (7)$$

式中,  $\otimes$  表示异或运算,但该计算仍然存在着不小的误差,比如:如果  $B_1 = [10000000]$ ,  $H(B_1, B_2) = 1/2$ ,则说明  $B_2$  与  $B_1$  只有一个二元符号的差异不同,那么  $B_2$  就有可能有多种可能的选择:  $[10000001]$ 、 $[10000010]$ 、 $\dots$ 、 $[11000000]$ ... 所以为了更精确地匹配不同的指纹,得到更准确的匹配数据,不采用直接对指纹的二元序列比较汉明距离,而是将指纹的二元序列按原来的编码方式译码成十进制数,比较其欧氏距离

$$\text{Dist}(F_r^p, D_r^q) = \sqrt{\sum_{i=1}^r (f_i^p - d_i^q)^2} \quad (8)$$

$F_r^p = [f_1^p, f_2^p, \dots, f_r^p]$  为长度  $r$  的待测视频指纹序列。 $D_r^q = [d_1^q, d_2^q, \dots, d_r^q]$  为视频库里与其进行匹配的指纹序列。

一段视频会产生  $i$  个帧图像,仅仅一个关键帧的指纹不足以表示该段视频指纹的全部信息。为了达到匹配的可靠性,视频段最小的匹配单元应用是

2 s, 5 s, 或 10 s。本文选择的是 10 s 为最小匹配单元。考虑到如果利用滑动窗口在一段长视频上来选择每个 10 s, 会产生诸多的 10 s, 而且其中会有重叠选择的部分, 这样造成浩大的计算负担, 达不到实时性的要求。即便间隔的选择 10 s 匹配单元, 对于 1 h 的长视频来说, 也有很大计算量。而且间隔的选择 10 s, 可能会造成部分有效视频信息的遗漏, 达不到匹配的可靠性。

针对这些因素, 本文设计了一个新颖的思想: 如 10 s 视频指纹与 20 s 视频指纹的匹配, 其中 10 s 是待测的可疑视频, 20 s 是数据库中的已有视频, 见图 3。

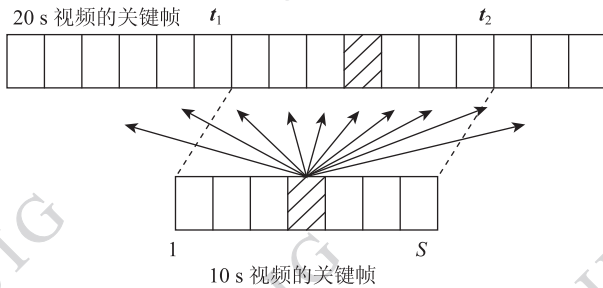


图3 10 s 视频与 20 s 视频匹配过程

Fig. 3 The match of 10 s video and 20 s video

首先, 随机选取 10 s 视频中的任一个关键帧, 再将该关键帧指纹  $s_i$  与 20 s 视频中的每一个关键帧指纹进行逐一比较, 找到 20 s 视频中与  $s_i$  欧氏距离最小的关键帧  $t_i$ 。

然后, 以  $t_i$  为中间轴, 分别向前和向后选取 5 s 视频所包含的关键帧数目, 使得所选关键帧数目和 10 s 视频关键帧总数相同。

最后, 一一对应比较 10 s 视频中所有关键帧指纹和 20 s 中选取的关键帧指纹之间的欧氏距离, 通过实验设定阈值  $\tau$ , 若其欧氏距离在  $\tau$  值以下, 即

$$Dist(F_r^p, D_r^q) = \sqrt{\sum_{i=1}^r (f_i^p - d_i^q)^2} < \tau \quad (9)$$

则定为相似视频, 反之亦然。其中阈值  $\tau$  是通过实验获得。

### 2.3 实验结果与性能分析

实验所用的视频全是从网上、电视节目、DVD 和 VCD 上获得, 总长度为 15 h, 包括 310 个视频片段, 其中体育节目 65 个, 广告 100 个, 新闻 80 个, 综艺节目 65 个, 分辨率为  $352 \times 288$ , 帧率为 25 帧/s。参数设定:  $K=10, X=256, Y=256$ 。指纹评估包含 3 个方面: 1) 可区分性测试, 其是为认证准确性测试

的, 不同的视频序列应该被指纹很好的区分。如果不同视频序列被认证为相同的, 就成为“错误检测”。2) 鲁棒性测试, 视频指纹应该对大量内容的扭曲有鲁棒性, 如果被扭曲的图片没有被检测认证出来, 就称为“丢失检测”。3) 实时性测试, 视频指纹的抽取和匹配应该都能满足实时性要求, 否则耗时太长, 达不到高效快速的目的。

算法的查全率和查准率为

$$\text{查全率} = \frac{\text{正确检测}}{\text{正确检测} + \text{丢失检测}}$$

$$\text{查准率} = \frac{\text{正确检测}}{\text{正确检测} + \text{错误检测}}$$

#### 2.3.1 鲁棒性分析

由于视频在传输和播放过程中可能被编辑、压缩和噪声污染, 被检测的视频片段会与原始视频存在着某些差异, 需对视频指纹技术进行鲁棒性研究。常见的攻击有: 亮度变换、帧比率变换、剪裁和标签覆盖等。

通过改变视频片段的亮度 (亮度值增加 10%、20%, 减少 10%、20%)、帧比率 (15 帧/s, 5 帧/s)、尺寸 ( $320 \times 240, 720 \times 576$ ) 和标签覆盖 (覆盖 5%、20%、30%) 来形成测试的视频片段, 然后在视频库中检索视频片段, 并且将本文方法与 CGO 方法进行对比, 检索结果如表 1。可见, 本文方法对上述常规攻击具有较好的鲁棒性。

表 1 视频指纹鲁棒性分析

Table 1 The robust analysis of video fingerprinting /%

视频攻击类型	CGO		本文方法	
	查全率	查准率	查全率	查准率
亮度值增加 10%	85.9	92.4	89.5	94.6
亮度值增加 20%	85.6	92.1	88.9	93.4
亮度值减少 10%	84.7	91.3	88.7	93.7
亮度值减少 20%	82.3	89.6	87.4	91.8
帧比率为 15 fps	86.5	92.9	88.9	94.0
帧比率为 5 fps	82.3	89.7	86.7	90.3
尺寸: $320 \times 240$	91.3	92.5	92.4	93.4
尺寸: $720 \times 576$	85.3	87.4	90.2	91.3
Logo 覆盖 5%	78.3	78.9	90.6	90.8
Logo 覆盖 20%	65.7	68.3	89.2	89.7
Logo 覆盖 30%	56.3	58.4	86.3	87.0

### 2.3.2 可区分性分析

为了验证本文方法的可区分性,通过实验测试了方法的性能曲线,其中对查全率和查准率进行了测试,将实验的数据点拟合成类似的曲线,并与 CGO 方法和文献[9]的方法进行了比较,如图 4。最佳阈值点  $\tau = 1.625$ ,按本文方法通过实验获得,是两条曲线交汇点,如图 5。可见,本文方法优于以上两种方法,有较高的视频识别率。

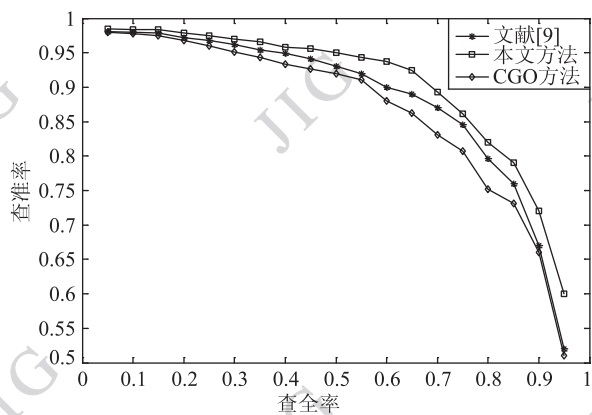


图 4 本文方法与 CGO 和文献[9]方法对比  
Fig. 4 The comparison of the CGO method, the reference[9] method and this method

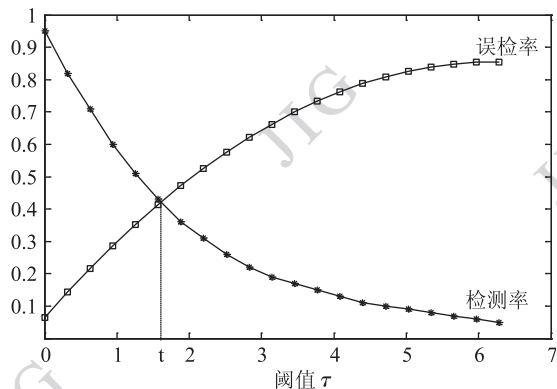


图 5 阈值  $\tau$  的获得  
Fig. 5 The acquire of threshold  $\tau$

### 2.3.3 实时性分析

为研究本文方法的实时性,与 CGO 方法进行比较,将待测视频分成 20 s,100 s,320 s,1000 s 4 个不同的时长,视频播放速度为 25 帧/s。分别用 CGO 方法和本文方法对这 4 个时长的视频进行指纹抽取和指纹匹配,如图 6、图 7。可见,本文方法在指纹抽取和匹配的实时性上都优于 CGO 方法。

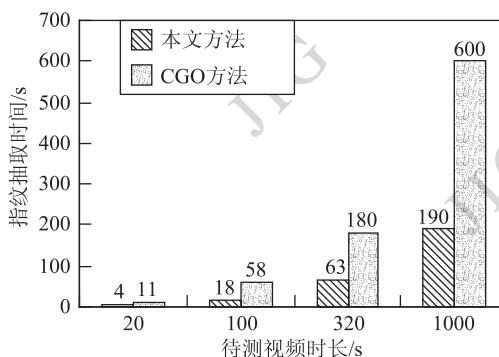


图 6 指纹抽取时间分析  
Fig. 6 Extracted time analysis of fingerprint

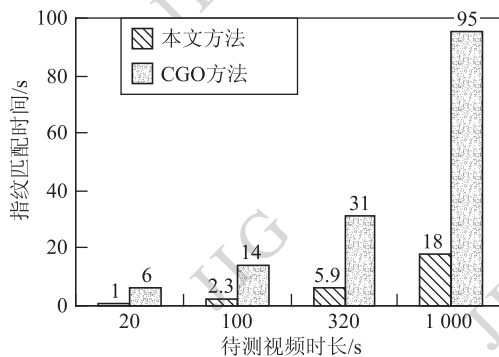


图 7 指纹匹配时间分析  
Fig. 7 Matching time analysis of fingerprint

## 3 结论

分析了现存的国内外视频指纹的方法,鉴于各种方法的优劣,提出了一种基于压缩传感的视频指纹方案,采用压缩传感的稀疏性和安全性对提取的视频关键帧进行采样,得到的特征矩阵经奇异值分解后编码生成指纹,安全可靠地保留了视频原有的基本特征和信息。同时也提出了一个高效的两步指纹匹配方案,通过粗细两步搜索对视频进行检索,提高了视频检索的效率。实验结果表明,本文方法达到了准确性、实时性和鲁棒性的要求,同时与 CGO 等视频指纹方法相比性能更优。下一步的工作重点,是在本文研究的基础上提出自适应的传感压缩方法,进一步提高指纹的鲁棒性和匹配算法的性能,并探索在网络视频中的应用。

### 参考文献 (References)

[ 1 ] Liu Y, Yao L. Research of robust video fingerprinting [ C ]//

- Proceedings of International Conference on Computer Application and System Modeling ( ICCASM ). Taiyuan, China: IEEE, 2010:43-46.
- [ 2 ] Zhuang X Y. A video retrieval system based on video fingerprints [ D ]. Beijing: Beijing University of Technology, 2005. [ 庄新月. 基于视频指纹的视频检索技术研究 [ D ]. 北京:北京工业大学. 2005. ]
- [ 3 ] Sunil L, Chang D Y. Robust video fingerprinting for content-based video identification [ J ]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18(7): 983-988.
- [ 4 ] Cheung C S, Zakhor A. Efficient video similarity measurement with video signature [ J ]. IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol, 2003, 13(1): 59-74.
- [ 5 ] Bhat N D, Nayar K S. Ordinal measures for image correspondence [ J ]. IEEE Trans. on Pattern Anal. Mach. Intell., 1998, 20(4):415-429.
- [ 6 ] Kim C, Vasudev B. Spatiotemporal sequence matching for efficient video copy detection [ J ]. IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol, 2005, 15(1): 127-132.
- [ 7 ] Fridrich J, Goljan M. Robust hash functions for digital watermarking [ C ] // Proceedings of IEEE International Conference on Information Technology: Coding and Computing. Las Vegas, Nevada, USA: IEEE, 2000: 178-183.
- [ 8 ] Mihcak M K, Venkatesan R. New iterative geometric technique for robust image hashing [ C ] // Proceedings of ACM workshop on Security and Privacy in Digital Rights Management. Vancouver, BC, Canada: ACM, 2001:13-21.
- [ 9 ] Swaminathan A, Mao Y, Wu M. Robust and secure image hashing [ J ]. IEEE Trans. on Information Forensics and Security, 2006, 1(2):215-230.
- [ 10 ] Lee S, Yoo D C. Robust video fingerprinting for content-based video identification [ J ]. IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol, 2008, 18(7): 983-988.
- [ 11 ] Law-To L, Chen L, Joly A, et al. Video copy detection: a comparative study [ C ] // Proc. of Conf. Image Video Retrieval ( CIVR ). Amsterdam, Netherlands: IEEE, 2007: 371-378.
- [ 12 ] Esmaili M M, Fatourehchi M, Ward R K. A Robust and fast video copy detection system using content-based fingerprinting [ J ]. IEEE Trans. on Information forensics and Security, 2011, 6(1): 213-226.
- [ 13 ] Shao W Z, Wei Z H. Advances and perspectives on compressed sensing theory [ J ]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(1): 1-12. [ 邵文哲, 韦志辉. 压缩感知基本理论:回顾与展望 [ J ]. 中国图象图形学报, 2012, 17(1): 1-12. ]
- [ 14 ] Donoho D L. Compressed sensing [ J ]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52(4): 1289-1306.
- [ 15 ] Wang K, Liu Y L, Zhang J X. RIP analysis for quasi-Toeplitz CS matrices [ C ] // Proceedings of International Conference on Future Information Technology and Management Engineering. Chongqing, China: IEEE, 2010: 1512-1514.
- [ 16 ] Duarte M F, Wakin M B, Baraniuk R G. Fast reconstruction of piecewise smooth signals from random projections [ C ] // Proc. of Signal Processing with Adaptive Sparse Structure Representation. Rennes, France: [ s. n. ], 2005.
- [ 17 ] Liu G F, Debrunner V. Matching pursuits may yield superior results to orthogonal matching pursuits when secondary information is estimated from the signal model [ C ] // Proceedings of 2010 Conference Record of the Forty Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. California, USA: IEEE, 2010: 2013-2016.
- [ 18 ] Cormode G, Muthukrishnan S. Towards an algorithmic theory of compressed sensing, DIMACS TR:2005-40 [ R ]. Newark, New Jersey, USA: Rutgers University, 2005.
- [ 19 ] Sun Z H, Wang C, Kebin J. Near-duplicate video clips detection with motion based video fingerprinting [ C ] // Proceedings of the 4th International Congress on Image and Signal Processing. Beijing, China: IEEE, 2011: 456-459.
- [ 20 ] Wang R, Ping X J. Detection of resampling based on texture complexity and singular value decomposition [ J ]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2010, 22(9): 1606-1612. [ 汪然, 平西建. 基于图像纹理复杂度和奇异值分解的重采样检测 [ J ]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(9):1606-1612. ]
- [ 21 ] Su X, Huang T J, Gao W. Robust video fingerprinting based on visual attention regions [ C ] // Proceedings of ICASSP 2009. Beijing, China: IEEE, 2009: 1525-1528.