

一种压缩域快速视频拷贝检测算法

张勇东, 张冬明, 郭俊波, 唐胜

(中国科学院计算研究所, 前瞻研究实验室, 北京 100190)

摘要: 为了在大规模数据下有效提升拷贝检测速度, 提出一种压缩域视频拷贝检测算法, 采用两级匹配框架, 利用压缩域上 DCT 系数顺序度量特征进行相似度匹配, 显著减少查询视频解码操作; 并为 DCT 系数顺序度量特征建立倒排索引, 以加快第一级匹配的速度。实验结果表明: 与已有的算法相比, 所提出算法在保持相当的检测精度条件的同时, 大幅提升了检测速度。

关键词: 视频拷贝检测; 压缩域; DCT 系数; 顺序度量

中图分类号: TP391

文献标识码:

文章编号:

Rapid video copy detection on compressed domain

ZHANG Yong-dong, ZHANG Dong-ming, GUO Jun-bo, TANG Sheng

(Laboratory of Advanced Computing Research, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract: To reduce the detection time efficiency under large scale data environment, a rapid algorithm was proposed on compressed domain using a two-level hierarchical detection scheme. The ordinal measures of DCT coefficients were adopted as visual features for similarity matching in order to reduce the computational load in video decoding. Inverted indexing structure was used to accelerate the first level detection process. Compared with the previous algorithm, the experiment results showed our algorithm could improve the detection speed obviously with the similar detection precision.

Key words: Video Copy Detection; Compressed Domain; DCT Coefficient; Ordinal Measures

1 引言

当前随着数字视频技术的发展, 数字视频数据量成爆炸式增长, 进而对数字视频版权保护与内容管理技术产生了迫切的需求。基于内容的视频拷贝检测(Content-based Video Copy Detection), 简称视频拷贝检测, 作为一项重要的数字视频版权保护与内容管理技术, 逐渐成为国内外研究的热点。视频拷贝检测的任务描述是: 给定若干查询的视频片段, 在视频数据库中进行查找, 检测是否存在相应的视频片段与查询视频片段内容相同; 如果存在,

查询视频片段就被称为视频拷贝片段。视频拷贝片段可以直接来自源视频, 也可能是对源视频经过各种拷贝攻击而得, 这些攻击包括: 片段组合, 重新编码, 画面图像的颜色、对比度、分辨率变化等等。虽然经过拷贝攻击, 但是拷贝视频与源视频在内容上是一致的, 拷贝检测技术需要能够容忍这些拷贝攻击。

当前, 解决数字视频版权保护问题的主要技术是数字水印(Digital Watermarking)和拷贝检测。数字水印技术是将水印信息(如数字、序列号、文字等版权信息)嵌入数字视频内, 成为源数据不可分离

收稿日期:

修回日期:

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(973 项目, 2007CB311100), 国家高技术研究发展计划项目(863 项目, 2007AA01Z416), 国家自然科学基金项目(6077356)和北京市科技新星计划项目(2007B071)。

Foundation Item: National Basic Research Program of China (973 Program) under Grant No.2007CB311100, National High Technology and Research Development Program of China (863 Program) under Grant No.2007AA01Z416, National Natural Science Foundation of China under Grant No.6077356, Beijing New Star Project on Science & Technology under Grant No. 2007B071.

的一部分,即使通过压缩、数/模转换、改变文件格式等操作,设计鲁棒的水印也能继续存在;并且在需要的时候将嵌入的水印信号提取出来,用来判别对象是否受到保护,以达到版权保护的目的。拷贝检测是从一个视频对象中提取出感知特征,作为数字签名(Digital Signature);内容相同的视频对象具有相同的数字签名,内容不同的视频对象生成数字签名不同。因此数字签名可以作为视频对象本身的身份标识,应用于数字视频版权保护。与数字水印相比,拷贝检测的主要优势在于:在视频对象发布前,无需人工在视频对象中嵌入附加信息,数字签名可以在视频发布之后进行[1]。

视频拷贝检测是基于视觉内容来判断不同视频是否具有相同内容片段,实现对特定视频内容的搜索,检测和跟踪。除了版权保护之外,拷贝检测可应用于视频搜索与视频数据库中的去冗余,指定有害内容视频的检测与过滤,商业视频的数据挖掘与跟踪等方面,具有巨大的应用需求和市场应用前景。

在视频拷贝检测技术领域,当前国内外的研究重点是寻找各种复杂的特征提取方法来提高拷贝检测对于各种拷贝攻击手段的鲁棒性。然而在实际应用中,最需要解决的问题是在大规模数据下,在保持对常见攻击手段的鲁棒性的同时,如何显著提高拷贝检测的速度。目前针对这个问题,国内外的研究成果还比较少。本文聚焦于拷贝检测速度的提升,提出了一种压缩域快速拷贝检测方法。

本文接下来的内容安排如下:在第2节介绍相关国内外研究工作,在第3节详细介绍本文所提出的算法,在第4节给出实验结果,最后在第5节进行总结。

2 相关研究工作

视频拷贝检测的实质在于判断不同的视频片段是否具有相同的内容,现有的视频拷贝检测方法多采用基于帧匹配的框架:分别从待匹配视频片段中选取一系列代表帧,然后通过比较代表帧序列的相似度,来判断待匹配视频片段是否具有相同内容。

当前的拷贝检测主流方法区别在于特征的选取和匹配算法的不同,但是这些方法基本上都是在像素域上进行。在文献[2]、[3]中使用图像分块颜色直方图特征进行图像相似度比较,这种方法简单,

检测速度较快,但是此类的特征对于画面图像的颜色、对比度变化比较敏感,对于许多拷贝攻击缺乏鲁棒性。为了解决这样的问题,一些研究学者提出了基于顺序度量特征(Ordinal Measures, OM)的拷贝检测方法。OM特征起初应用于立体图像匹配,它不强调2个度量之间大小比率,而是强调它们之间的次序。在文献[4]中论述了如何应用OM方法来检测经过各种拷贝攻击后的视频拷贝,在文献[5]中提出了一种结合时序信息的OM方法,它方法的性能优于普通的OM方法,对于各种攻击具有更好的鲁棒性。在文献[6]中指出:与颜色和运动等特征相比,基于OM特征的方法是当前性能最好的拷贝检测方法。为了进一步解决对于更加复杂攻击(如画中画、摄像机录制等)情况下的拷贝检测问题,一些学者又提出了基于局部特征描述算子的拷贝检测方法,例如在文献[7]中Joly等人把局部特征算子—Harris算子用于关键帧匹配。基于局部特征描述算子的方法虽然能够获得很高的匹配与检测精度,但是计算复杂度比较高,无法实现大规模数据集下的快速检测。

如何在大规模数据集下,显著提升拷贝检测的速度?这是一个必须面对的实际应用问题,目前已经开始引起国内外研究学者的关注。在文献[3]、[8]中都提出了分级匹配的方法,使用两级匹配策略来加快检测速度。另外在文献[3]中,还引入了R*索引技术为数据库中的视频特征建立高维索引,以进一步加快匹配搜索的速度。

目前已有的拷贝检测方法基本上都是在像素域上进行的,缺乏有效的压缩域检测方法。在压缩域上进行拷贝检测,不仅可以显著减少查询视频解码的计算量,而且可以利用压缩域数据特性降低特征提取的计算量,从而提升拷贝检测的速度。

3 压缩域视频拷贝检测算法

本文所提出的压缩域视频拷贝检测算法基于分级匹配的框架,采用压缩域上离散余弦变换(Discrete Cosine Transform, DCT)系数顺序度量特征进行相似度匹配,显著减少输入视频解码操作;并为DCT系数顺序度量特征建立倒排索引,以加快第一级匹配的速度。

3.1 压缩域DCT系数分析

为了有效地存储和传输数字视频,一般通过消

除视频内的空域相关性和时域相关性来对视频进行压缩。在当前主要的视频压缩标准(如 MPEG-1/2/4 和 H.261/3 等)中,基本采用 DCT+运动补偿的压缩框架, DCT 变换用来消除视频帧内的空域相关性,运动补偿用来消除视频帧间的时域相关性。在压缩视频序列中一般存在三种帧的类型: I 帧、P 帧和 B 帧, I 帧可以独立编码解码,而 P 帧和 B 帧需要参考相邻的 I 帧或 P 帧才能进行编码和解码。

对于 I 帧,首先在像素域上将其划分为若干互不重叠的 8×8 像素块,而后对每个 8×8 像素块进行 DCT 变换,得到频域上的 DCT 系数,实现能量向低频系数的聚集,以此来消除空域相关性。 8×8 DCT 变换公式如下:

$$F(u, v) = \frac{C(u)C(v)}{4} \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16}$$

$$C(u), C(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & u, v = 0 \\ 1 & \text{否则} \end{cases} \quad (1)$$

其中 $f(x, y)$ ($0 \leq x, y \leq 7$) 代表 8×8 像素块的亮度值, $F(u, v)$ ($0 \leq u, v \leq 7$) 为该像素块的 DCT 系数, u 是水平频率, v 是垂直频率。每个 DCT 系数 $F(u, v)$ 都是该块中所有像素亮度值的线性组合,其中 $F(0,0)$ 为直流分量(被称为 DC 系数),其余系数为交流分量(被称为 AC 系数)。DC 系数 $F(0,0)$ 反映了该像素块的平均亮度,而 AC 系数则反映了在不同方向上的亮度值变化及变化率。

对于 P 或 B 帧,首先通过运动补偿预测,根据相邻的 I 帧或 P 帧,形成对当前 P 或 B 帧的预测图像,当前帧图像与预测图像相减得到残差图像,残差图像将划分为若干互不重叠的 8×8 块,对残差图像每个 8×8 块进行 DCT 变换,得到 P 或 B 帧的 DCT 系数。对于 P 或 B 帧中的一个 8×8 DCT 系数块,可以定义其能量值 E :

$$E = \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 |F(u, v)| \quad (2)$$

8×8 DCT 系数块的能量值 E 反映了该 DCT 系数块所对应的 P 或 B 帧图像区域与相邻参考帧的时域相关性, E 值越小,时域相关性越强, E 值越大,时域相关性越弱。

3.2 基于 I 帧的第一级匹配

在本文所提出的拷贝检测算法的第一级匹配

中,仅抽取查询视频和数据库中视频的 I 帧进行匹配,采用 I 帧 DC 系数顺序度量特征作为相似度度量特征,同时为了加快匹配速度,对数据库视频 I 帧的 DC 系数顺序度量特征建立倒排索引。

3.2.1 I 帧 DC 系数顺序度量特征

对于一个 I 帧图像,将其等分成 3×3 共 9 个区域 A_i ($i=0, \dots, 8$),如图 1 (a) 所示;对于每个区域 A_i ,根据该区域所涉及的所有 8×8 DCT 块的 DC 系数 $F(0,0)$,计算其平均 DC 系数值 \overline{DC}_i :

$$\overline{DC}_i = \sum_{a_j \cap A_i \neq \emptyset} F_j(0,0) / N,$$

$$N = \sum_{a_j \cap A_i \neq \emptyset} n_j, \quad n_j = 1 \quad (3)$$

其中 a_j ($j=0, \dots, N-1$) 代表 I 帧图像中的一个 DCT 系数块(该图像中共有 N 个 DCT 系数块), $F_j(0,0)$ 为 DCT 系数块 a_j 的 DC 系数。区域 A_i 平均 DC 系数值 \overline{DC}_i 反映了该区域的平均亮度。

获得了 9 个区域的平均 DC 系数值后(如图 1 (b) 所示),将这些平均 DC 系数值按大小进行排序,形成排序矩阵(如图 1 (c) 所示),这个排序矩阵就是 I 帧 DC 系数顺序度量特征。

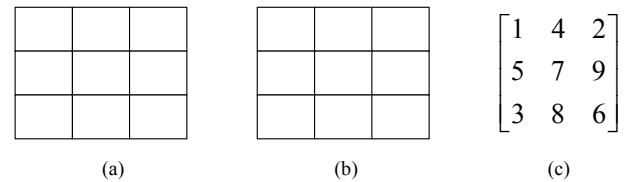


图 1 (a) I 帧图像被等分成 3×3 个区域 (b) 各个区域平均 DC 系数值 (c) 对应的排序矩阵

Figure 1 (a) I frame is partitioned into 3×3 regions (b) DC coefficient's average values of regions (c) Rank matrix of (b)

3.2.2 DC 系数顺序度量特征的倒排索引

在许多应用场合中,数据库中视频数目是巨大的,进而全部 I 帧图像的数目将是海量的。如果不对数据库中的 I 帧图像特征建立有效索引,每个查询视频的 I 帧都要和数据库中的每个 I 帧进行匹配,这样严重影响拷贝检测的速度。为了解决在海量数据情况下拷贝检测的速度问题,本文借鉴文本检索中的倒排索引技术,将其引入到所提出的拷贝检测算法,应用于第一级匹配。

首先通过表 1 中的一个例子介绍一下文本检索

中的倒排索引技术。在表 1 中，左表给出了 6 个文档及其序号，而右表针对所选择的一些关键词而建立起的对应倒排索引。在这个倒排索引中，针对每个关键词给出了包含此关键词的文档序号；这样当输入这些关键词进行检索时，将能够很快检索出包含这些关键词的文档。

表 1 文本检索中倒排索引例子

Table1 An example of the inverted text index used in text retrieval

序号	文本
1	豌豆/粥//烫,豌豆/粥/冷
2	碗/里/的/豌豆/粥
3	年龄/九/岁
4	有的/烫,有的/冷
5	有的/在/碗里
6	年龄/九/岁

关键词	序号
冷	1,4
岁	3,6
热	1,4
九	3,6
年龄	3,6
豌豆	1,2
粥	1,2
碗	2,5
有的	4,5

借鉴这样的思想，我们可为I帧的DC系数顺序度量特征建立倒排索引，建立方法可以通过图 2 及表 2 中的例子来说明。假设有两个视频 V_0, V_1 ,每个视频各有 3 个I帧，分别为 f_{00}, f_{01}, f_{02} 和 f_{10}, f_{11}, f_{12} ，每个I帧的排序矩阵在图 2 中给出，根据这些排序矩阵得到的DC系数顺序度量特征倒排索引在表 2 中给出。

为视频数据库中的全部 I 帧的 DC 系数顺序度量特征建立倒排索引后，对于查询视频的每个 I 帧，可以在倒排索引中搜索出与其相匹配的视频数据

$$V_0: \begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 \\ 5 & 7 & 9 \\ 3 & 8 & 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 \\ 5 & 7 & 9 \\ 3 & 8 & 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{bmatrix} \quad V_1: \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 6 & 5 & 4 \\ 9 & 8 & 7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 6 & 5 & 4 \\ 9 & 8 & 7 \end{bmatrix}$$

$f_{00} \quad f_{01} \quad f_{02} \quad f_{10} \quad f_{11} \quad f_{12}$

图 2 两个视频的排序矩阵

Figure2 The rank matrixes of two videos

库中的 I 帧，并利用投票表决的方法得到与查询视频相匹配的候选视频集合（来自于视频数据库）。

表 2 为图 2 中的排序矩阵建立倒排索引

Table2 The inverted index of the rank matrixes in Fig.2

排序矩阵	视频	I 帧
[1 2 3 4 5 6 7 8 9]	V_0, V_1	f_{02}, f_{10}
[1 4 2 5 7 9 3 8 6]	V_0	f_{00}, f_{01}
[3 2 1 6 5 4 9 8 7]	V_1	f_{11}, f_{12}

3.3 基于图像组(Group of Pictures, GOP)的第二级匹

配

通过第一级匹配，可以得到与查询视频相匹配的候选视频集合，还需要将查询视频与候选视频进行进一步匹配，来最终确定查询视频是否为视频数据库中的拷贝。

与第一级以 I 帧为基本单元进行匹配不同，本文在第二级匹配中以图像组 GOP 为基本单元进行匹配。在压缩视频中有三种帧的类型：I 帧、P 帧和 B 帧，一个 GOP 由一串 IBP 帧组成，起始为 I 帧，GOP 的长度是一个 I 帧到下一个 I 帧的间隔，一般用 N 表示（图 3 中 N=9），在一个 GOP 中有 1 个 I 帧和若干个 P 帧（在图 3 所示的 GOP 中有 2 个 P 帧）。



图 3 一个 GOP 例子

Figure 3. A example of GOP

设 V_q 为查询视频， V_c 为一个候选匹配视频， V_q 中的一个GOP为 G_q ， V_c 中的一个GOP为 G_c ，下面将阐述如何计算 G_q 和 G_c 间的相似度。

在 G_q 中，一个I帧为 I^q ，有 m_q 个P帧： $\{P_i^q, 1 \leq i \leq m_q\}$ ；在 G_c 中，一个I帧为 I^c ，有 m_c 个P帧： $\{P_j^c, 1$

$\leq j \leq m_c\}$, I帧 I^q 和 I^c 的DC系数顺序度量距离为:

$$d(I^q, I^c) = \frac{1}{C} \sum_{l=1}^W |r_l^{I^q} - r_{cl}^{I^c}| \quad (4)$$

其中 r^{I^q} 和 r^{I^c} 分别为I帧 I^q 和 I^c 的DC系数顺序度量特征的排序矩阵, W 为排序矩阵尺寸, C 为两个排序矩阵的最大距离, 在本文中 $W=9$, 因而 $C=20$ 。在计算 P_i^q 和 P_j^c 相似度距离时, 所采用的特征为P帧DCT系数能量顺序度量特征。P帧DCT系数能量顺序度量特征的计算方法与I帧DC系数顺序度量距离特征的计算方法类似, 唯一区别在于: 将初始输入参数由I帧的DCT块的DC系数改变为P帧的DCT块能量值 E , 为了加快 E 的计算速度, 在此对(2)式进行修正, 舍弃了部分高频DCT系数:

$$E = \sum_{u=0}^2 \sum_{v=0}^2 |F(u, v)| \quad (5)$$

进而P帧 P_i^q 和 P_j^c 的DCT系数能量顺序度量距离为:

$$d(P_i^q, P_j^c) = \left\| r^{P_i^q} - r^{P_j^c} \right\| = \sum_{l=1}^W |r_l^{P_i^q} - r_l^{P_j^c}| \quad (6)$$

其中, $r^{P_i^q}$ 和 $r^{P_j^c}$ 分别为P帧 P_i^q 和 P_j^c 的DCT系数能量顺序度量特征的排序矩阵。

在此基础上就可以得出 G_q 和 G_c 间的相似度量距离:

$$D(G_q, G_c) = \alpha d(I^q, I^c) + (1-\alpha) \min_{1 \leq i \leq m_q, 1 \leq j \leq m_c} \{d(P_i^q, P_j^c)\} \quad (7)$$

其中 α 为加权参数, 如果 $D(G_q, G_c)$ 小于设定阈值 T , 即可认为 G_q 和 G_c 相匹配。如果在 V_q 中, 时域上连续3个GOP都可以在 V_c 中找到匹配的GOP, 即可认定 V_q 是 V_c 的一个拷贝。

4 实验结果

在实验中, 数据库中的视频来自于 TRECVID 2008 年拷贝检测评测[9]所同使用的数据集, 共有 101 个视频文件(每个视频时间长度从 30 秒到 2 小时不等), 总时长在 58 小时左右。全部视频都是以 MPEG-1 格式压缩, 分辨率为 352×288 , 帧率为 25 帧/秒。在创建查询视频时, 我们从数据库的视频中截取 4 个视频片段(每个视频时间长度从 6 到 10 分钟不等), 对这 4 个视频片段分别施加 5 种拷贝攻击: 2 倍快进、对比度降低、画面模糊、改变分辨率、改变画面长宽比, 这样共形成 20 个拷贝查

询视频(总时长为 3 小时 6 分钟 42 秒)。另外, 我们从 TRECVID 2007 高层语义概念检测的测试视频中截取 20 个视频片段(总时长为 2 小时 50 分 12 秒), 构成 20 个非拷贝查询视频, 因此总共查询视频为 40 个(总时长为 5 小时 56 分钟 54 秒)。

4.1 检测精度比较

首先, 我们来测试本文所提出的算法的检测精度, 并与文献[5]中的算法进行对比, 所使用的测试指标是 TRECVID 2008 拷贝检测评测指标—检测准确率 Det_Prec :

$$Det_Prec = \frac{\#Correct_Det}{\#All_Det} \quad (8)$$

其中, $\#Correct_Det$ 表示检测结果正确的查询视频数目, $\#All_Det$ 表示全部查询视频数目。在本文算法中, T 和 α 是参数变量, 与文献[5]中的参数变量性质一样。图 4 给出了在 $T=0.1$, α 取不同值的情况下, 本文算法和文献[5]算法的检测准确率对比情况。

表 4 中的实验结果表明: 当 $\alpha=0.7$ 时, 本文算法取得最高的检测准确率; 当 $\alpha=0.3$ 时, 文献[5]算法取得最高的检测准确率, 两者的最高检测准确率基本相当。

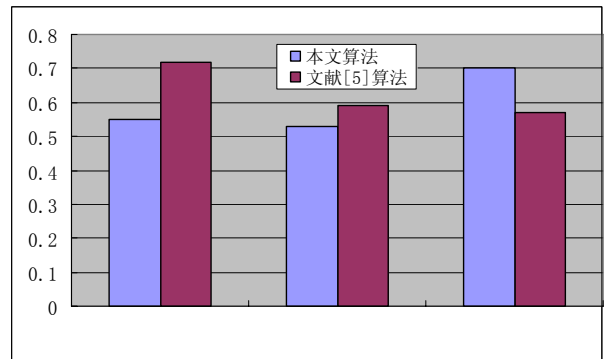


图 4 检测精度的实验结果

Figure 4 The experiment result of detection precision

4.2 检测速度比较

图 5 给出了本文算法与和文献[5]算法对上述 20 个拷贝查询视频和 20 个非拷贝查询视频的检测时间, 所使用计算机配置为: CPU—P4 3.4G, 内存—1G, 检测时间包括查询视频的解码时间和拷贝检

测本身时间。图 5 的实验结果表明：本文算法的检测速度非常快，检测速度是文献[5]算法的6倍以上。

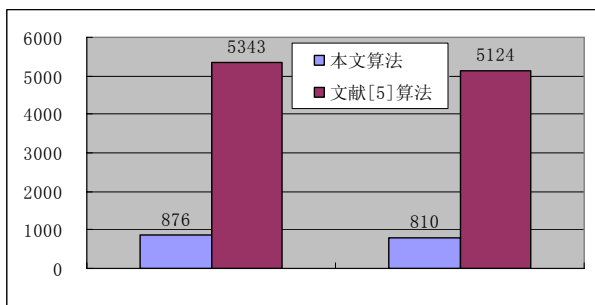


图 5 检测速度实验结果

Figure 5 The experiment result of detection speed

5 总结

本文提出了一种快速压缩域视频拷贝检测算法，该算法采用两级匹配框架，利用压缩域上 DCT 系数顺序度量特征进行相似度匹配，显著减少查询视频解码操作；并为 DCT 系数顺序度量特征建立倒排索引，以加快第一级匹配的速度。实验结果表明：与已有的算法相比，在大规模数据集下，本文算法在保持相当的检测精度条件的同时，大幅提升了检测速度。下一步将研究如何在压缩域上提取更有效特征，以进一步提高检测精度，抵抗更为复杂的拷贝攻击。

参考文献：

[1] 唐胜. 多媒体数字签名技术研究. 博士学位论文, 中国科学院计算技术研究所, 2006.

[2] HSU W, CHUA T S, PUNG H K, An integrated color-spatial approach to content-based image retrieval. Proceeding of ACM Multimedia, pages 305 - 313. ACM Press, San Francisco, CA, 1995.

[3] WU X, ZHANG Y D, TANG S, et al. A hierarchical scheme for rapid video copy detection. Proceeding of IEEE International Workshop on Computer Vision Applications (WACV), Copper Mountain, Colorado, USA, 2008.

[4] HUA X S, CHEN X, and ZHANG H J. Robust video signature based on ordinal measure. Proceeding of International Conference on Image Processing, Singapore, October 2004.

[5] KIM C and VASUDEV B. Spatiotemporal sequence matching for efficient video copy detection, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 15(1):127-132, 2005.

[6] LAW-TO J, CHEN L, JOLY A, et al. Video copy detection: a comparative study. Proceeding of CIVR'07, pages 371-378, Amsterdam, The Netherlands, 2007.

[7] JOLY A, BUISSON O, FRELICOT C. Content-based copy retrieval using distortion-based probabilistic similarity search. IEEE Trans. on Multimedia, 9(2):293-306, 2007.

[8] WU X, HAUPTMANN A G, NGO C W. Practical elimination of near-duplicates from web video Search. Proceeding of ACM International Conference on Multimedia, pages 218-227. Augsburg, Germany, 2007.

[9] Guidelines for the TRECVID 2008 CD task Evaluation. <http://www-nlpir.nist.gov/projects/tv2008/tv2008.html>

作者简介：



张勇东 (1973-), 男, 山东掖县人, 博士, 中国科学院计算技术研究所, 副研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为视频编解码, 视频分析和检索。



张冬明 (1977-), 男, 江苏盐城人, 博士, 中国科学院计算技术研究所, 助理研究员, 主要研究方向为视频编解码, 视频图像内容分析与理解。



郭俊波 (1975-), 男, 湖北省公安县人, 硕士, 中国科学院计算技术研究所, 工程师, 主要研究方向为多媒体检索。



唐胜 (1972-), 男, 湖南怀化人, 博士, 中国科学院计算技术研究所, 副研究员。主要研究方向为多媒体内容分析与检索、多媒体数字签名与数字水印技术。

拷贝视频检测用时