

# 一种基于能量差比率与扩频的双重视频水印技术

傅德胜<sup>1</sup> 王建荣<sup>1</sup> 孙文静<sup>2</sup>

(南京信息工程大学 南京 210044)<sup>1</sup> (南京审计学院 南京 210029)<sup>2</sup>

**摘要** 提出了一种基于能量差比率与扩频的双重视频水印技术。首先在帧内预测变换和量化阶段,通过直接置换中低频 DCT 系数嵌入鲁棒水印,然后以能量差比率算法嵌入半脆弱水印。此外,该算法水印提取实现了盲检测。实验结果表明,提出的双重水印不会对视频文件大小造成影响,并且对重量化、块删除、共谋攻击等都具有很强的鲁棒性。

**关键词** 双重视频水印,扩频,能量差比率,I帧

## Dual Video Watermarking Technique Based on Energy Difference Ratio and Spread Spectrum

FU De-sheng<sup>1</sup> WANG Jian-rong<sup>1</sup> SUN Wen-jing<sup>2</sup>

(Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)<sup>1</sup> (Nanjing Audit University, Nanjing 210029, China)<sup>2</sup>

**Abstract** A dual video watermarking technique based on energy difference ratio and spread spectrum was proposed. Firstly, at the intra prediction, transform and quantization stage, it embedded robust watermarking by low-mid frequency DCT coefficients of direct-permutation. Further more, semi-fragile watermarking was embedded by energy-difference-ratio algorithm. And besides, watermark extraction in this algorithm enabled the blind examination. Experimental results show that the proposed method will not affect the size of video files, and also has strong robustness under attacks such as re-quantization, block-deletion and collusion.

**Keywords** Dual video watermarking, Spread spectrum, Energy difference ratio, I-frame

## 1 引言

压缩域视频水印 (Compressed-domain watermarking) 是当前信息隐藏领域的研究热点之一。

Hartung<sup>[1]</sup>等提出应用扩频的方法向视频 DCT 系数中添加水印,水印在添加前使用伪随机噪声序列进行调制,然后做 DCT 变换,形成 8×8 的 DCT 系数块 W。然后把 W 和原始视频码流中的 DCT 系数相加,产生含有水印的 DCT 系数。接着对这些系数再次进行量化和编码,从而产生含水印码流。该算法的优越性是不需要完全解压缩和重新压缩码流,并能抵抗一般的信号处理;其缺点在于嵌入水印的数据量较小(相应的水印的鲁棒性较弱),结构复杂。

庞娇阳<sup>[2]</sup>等在文献<sup>[35]</sup>算法基础上提出了一种新方法,即根据视频的空间能量分布来调整水印嵌入的局部强度,同时构造了具有纠错功能的水印信息。该方法在水印信息提取过程中采用了信号合并技术,获得了较高的正确率,但在提取水印时仍然需要水印序列,属于非盲水印算法。

Lu Chun-Shien<sup>[3]</sup>等则在此基础上提出了一种基于通信中的边信息和 VLC (Variable Length Coding) 域的水印格式,但是这种 VLC 域直接改变了行程编码值的方法,由于许多 DCT 系数为 0,因此即使没有任何攻击的情况下,基于相关系数的水印检测值也不高。

Jordan<sup>[4]</sup>等提出通过调整某一运动矢量的一个分量,例

如垂直分量或者水平分量,使其数值的某种特性(如奇偶性)与待嵌入的水印信息相对应,从而实现水印信息的嵌入。此类算法的计算复杂度几乎可以忽略,对视频码率的影响也非常小,适合实时操作的水印系统。但是,由于视频码流经常会遭到有意和无意的帧操作的攻击(如帧裁减等),导致运动矢量变化可能过大,从而使得算法鲁棒性不够。

本文提出一种基于能量差比率与扩频的双重视频水印技术。首先在帧内预测变换和量化阶段,通过直接置换中低频 DCT 系数嵌入鲁棒水印,然后以能量差比率算法嵌入半脆弱水印。

## 2 水印图像的扩频处理

对预嵌入的水印图像进行直接序列扩频。取水印为有特殊意义的二值图像,大小为 M×N,对其按列进行扫描,映射为一维二值序列 W,即:

$$W = \{w(n) | w(n) \in \{0, 1\}, 0 \leq n \leq M \times N - 1\} \quad (1)$$

对 W 以片率 cr 进行位扩展,扩展后的序列为:

$$S = \{s(m) | s(m) = w(n), n \cdot cr \leq m \leq (n+1) \cdot cr - 1, 0 \leq n \leq M \times N - 1\} \quad (2)$$

其中,片率 cr 即为扩频因子,其具体取值根据视频帧尺寸和水印图像大小来实验确定。采用上述扩展方法的主要目的是使原始信息的 1 比特冗余地分布到 cr 个嵌入位置,以提高鲁棒性。在设定用户密钥 key 条件下,利用伪随机数发生器或

到稿日期:2009-03-01 返修日期:2009-05-12 本文受江苏省产业技术研究与开发基金(苏发改高技发[2006]1106号)资助。

傅德胜(1950-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为信息安全、图像处理与模式识别;王建荣 硕士研究生,主要研究方向为信息安全;孙文静 讲师,主要研究方向为信息隐藏。

混沌系统产生一个二值伪随机序列  $P$ :

$$P = \{p(m) | p(m) \in \{0, 1\}, 0 \leq m \leq (M \times N) \cdot cr - 1\} \quad (3)$$

将长度相同的序列  $S$  和序列  $P$  进行异或运算, 得到待嵌入的水印序列  $W^S$ :

$$W^S = S \oplus P = \{w^s(m) | w^s(m) \in \{0, 1\}, 0 \leq m \leq (M \times N) \cdot cr - 1\} \quad (4)$$

由于伪随机序列  $P$  具有类似噪声的特性, 使得得到的扩频水印序列  $W^S$  也具有噪声特性, 很难被攻击者发现、定位和处理。

### 3 双重水印算法

#### 3.1 水印的嵌入

图 1 为双重视频水印嵌入流程图。首先, 对水印图像进行扩频处理, 得到鲁棒水印 ( $W_a$ ) 并向 DCT 域的中低频系数中嵌入水印。其次, 以差分能量算法嵌入半脆弱水印 ( $W_b$ )。

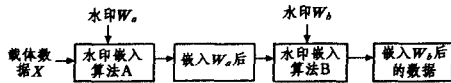


图 1 双重视频水印嵌入系统

在实际应用中, 水印信息可以采用伪随机序列。这种水印生成简便, 但提取出来后不能直观、形象地反映载体是否受到攻击。本文采用  $22 \times 64$  的二值数字图像作为标志水印, 且取图像的每个像素值为 1 个比特位, 组成 0, 1 的二进制序列。水印的容量可以达到 1000 个比特以上, 可满足版权保护之需<sup>[5]</sup>, 同时可以直观判断水印的完整性。

本文提出的直接置换中低频系数的水印嵌入算法, 突破了传统的加性嵌入方式和乘性嵌入方式, 避免了水印在相关检测时需要假设混沌序列与原始系数为正交的限制条件。具体为:

$$I' = \begin{cases} \alpha W, & \beta T < I < T \\ I, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

其中,  $I'$ ,  $I$  和  $W$  分别为水印嵌入前后的 DCT 系数和调制后的水印信息;  $\alpha$  为水印嵌入强度;  $\beta$  为阈值  $T$  的加权系数, 由仿真实验结果确定。

对于嵌入点的选择, 目前有两种观点: 对视觉效果影响不重要的区域嵌入水印, 可以较好地保证视频图像的质量; 出于鲁棒性的考虑, 水印必须嵌入视觉敏感区域<sup>[6,7]</sup>。本文选择向 DCT 变换域的不同区间采用不同方案, 同时采取一定的方法消除对视频质量的影响。

$I$  帧图像的每个  $8 \times 8$  亚宏块经变换后共有 64 个变换系数, 按 Zig-Zag(锯齿形)扫描方式进行扫描排列, 量化得到 64 个量化系数。假定量化后的直流系数分量为  $DC_0$ , 交流系数分量为  $AC_1$  至  $AC_{63}$ 。显然, 排在前面的系数是低频和中频系数, 为残差变换数据的主要内容, 而后为高频系数, 表征残差数据图像的纹理和细节信息。  $8 \times 8$  残差块的变换系数域中, 绝大部分能量都集中在直流分量和中低频分量, 只要能保证合理地改变高频分量, 控制帧内和帧间的预测精度, 就不会引起严重的视觉质量下降, 从而达到嵌入的目的。

实际操作中, 本文采用修改  $I$  帧每个  $8 \times 8$  块中位于中、低频域 1 个固定位置的 AC 系数 ( $Y(x_7, y_0)$ ) 来嵌入 1 比特水印信息, 且视频图像每个  $I$  帧中嵌入相同的认证水印。根据量化规则, 有:

$$Z_{ij} = \text{round}\left(\frac{Y_{ij}}{Q_{step}}\right) \quad (6)$$

其中,  $Y_{ij}$  是矩阵  $Y$  中的转换系数,  $Z_{ij}$  是输出的量化系数,

$Q_{step}$  是量化步长。

已知水印信号为  $M(x_7, y_0)$ , 现今:

$$M(x_7, y_0) = \text{sign}(Y(x_7, y_0)) \cdot \alpha \quad (7)$$

其中,  $\alpha$  为伸缩控制因子, 用来控制  $M(x_7, y_0)$  的幅值变化幅度, 其取值由实验确定。

经扫描排序后, 通过下式来修改量化系数  $Z_{ij}$ <sup>[8]</sup>:

$$Z^*(x_7, y_0) = \begin{cases} 0, & \text{if } w^s(i) = 0 \\ M_q(x_7, y_0), & \text{if } w^s(i) = 1 \text{ 和 } |M_q(x_7, y_0)| \geq |Y_q(x_7, y_0)| \\ Z(x_7, y_0), & \text{if } w^s(i) = 1 \text{ 和 } |M_q(x_7, y_0)| < |Y_q(x_7, y_0)| \end{cases} \quad (8)$$

其中,  $w^s(i)$  是待嵌入的二进制水印比特序列。在具体实现时,  $M(x_7, y_0)$  的量化与  $Y(x_7, y_0)$  的量化同步进行, 然后通过式(9)的判定条件, 用修改后的  $Z^*(x_7, y_0)$  来取代原量化系数  $Z(x_7, y_0)$ , 最后进行熵编码。

由式(9)判断过程知, 当嵌入比特位为 0 时,  $Z(x_7, y_0)$  被清零, 这正符合  $4 \times 4$  块变换量化后大部分系数为 0 (相应地在  $8 \times 8$  亚宏块中也为 0) 的事实。这样, 水印的嵌入在一定程度上会降低视频的视觉失真。当嵌入比特位为 1 时,  $Z(x_7, y_0)$  值的改变由  $M_q(x_7, y_0)$  来决定。

第二层水印信息为半脆弱水印, 采用基于能量差比率的 DEW 算法嵌入。

#### 3.2 嵌入时的码率控制与率失真优化

水印的嵌入在某种程度上影响或打乱了原始的编码模式和熵编码比特率, 故在每个宏块嵌入 4 比特水印后, 考虑如何进行码率控制, 达到最佳的率失真优化, 成为水印嵌入的关键问题。

H. 264 码率控制的 Lagrangian 代价函数为:

$$J_{\text{mod } e} = \underset{I_k \in \{H \times 4, H16 \times 16\}}{\text{argmin}} \{D_{\text{REC}}(S_k, I_k) + \lambda_{\text{mod } e} \times R_{\text{REC}}(S_k, I_k)\} \quad (9)$$

$S_k, R_{\text{REC}}$  为宏块  $S_k$  在  $I_k$  编码模式下熵编码后比特流的比特率,  $D_{\text{REC}}$  为宏块  $S_k$  在  $I_k$  编码模式下再重建像素的失真度。  $\lambda_{\text{mod } e}$  由量化参数  $QP$  确定:

$$\lambda_{\text{mod } e} = 0.85 \times \text{pow}(2, (QP - 12) / 3) \quad (10)$$

由式(11)可以看出, 通过控制量化参数  $QP$  可调整 Lagrange 参数  $\lambda_{\text{mod } e}$ , 从而进一步确定  $J_{\text{mod } e}$  的最小值。

由于 H. 264 视频编码以宏块为基本处理单元, 每个宏块共有 4 个水印预测残差变换块, 不同的预测残差块对应不同的预测模式, 则每个嵌入水印后的宏块需要在多种模式中做出最优选择, 亦即使  $J_{\text{mod } e}$  值最小的帧内预测编码模式为最佳的编码模式。这样, 在残差变换块中嵌入水印后, 即可得到视频编码的最佳比特流和最佳的视频质量。

基于 Lagrangian 优化算法的编码控制技术, 通过选择最佳的帧内预测编码模式, 可使水印嵌入后的视频流达到较好的率失真平衡。本算法在合理控制码率增加的同时, 可以减小视频视觉质量下降的幅度。

#### 3.3 水印的提取

对于一组视频序列帧图像, 根据图像参数头信息及片组宏块头信息, 按特定顺序依次找到  $I$  帧图像的每个宏块以及每个宏块所划分的块  $4 \times 4$  变换 DCT 量化系数, 再找到每个  $8 \times 8$  块中  $(x_7, y_0)$  位置的系数值  $Z'(x_7, y_0)$ , 做如下判断:

$$w'_s(i) = \begin{cases} 0, & \text{if } Z'(x_7, y_0) = 0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

在对 I 帧每个宏块的 4 个特定位置做判断后,就得到初步提取出来的水印序列  $w_i'(i)$ ,  $i$  的大小可以根据帧的尺寸计算。

在得到二元数组序列为  $w_i'(i)$  后,则需要用户密钥  $key$  进行解调,亦即用密钥  $key$  生成伪随机序列  $P$ ,其表达式同式(3),再将  $w_i'(i)$  与  $p(i)$  进行异或运算<sup>[56]</sup>,得到解调后的序列  $w'(i)$ ,即:

$$w'(i) = w_i'(i) \oplus p(i) \quad (12)$$

对于解调后的序列  $w'(i)$ ,理论上是由原始水印序列  $w^*(n)$  以片率  $cr$  扩展而来的。现从序列起始位置开始,以连续  $cr$  个序列元素为一组进行解扩。对于每组  $cr$  个数,分别统计 0 和 1 的总数,确定每组应该取 0 或是取 1,以得到重新构建的原始水印序列  $w^*(n)$  (其中  $n=i/cr$ )。再将  $w^*(n)$  重排列,恢复为二值图像。由提取过程可以看出,水印提取并不需要原始视频,为盲提取过程;水印提取只是在解码的反量化和反变换之前,并不需要对原始码流进行完全解码,就可在一定程度上保证水印提取的实时性<sup>[9,10]</sup>。

第二层水印信息的提取过程为:

(1) 根据密钥将视频 I 帧所有的  $8 \times 8$ DCT 亮度块随机置乱;

(2) 对于每一个区域,循环地按顺序选择  $n$  块,组成水印嵌入区域(lc-region),前  $n/2$  块组成子区域 A(A-subregion),后  $n/2$  块组成子区域 B(B-subregion);

对每个区域计算提取的实际截断索引  $c_e$ :

$$c_e(n, D') = \max\{\max\{g \in \{1, 63\} | E_{A_e}(g, n) > D'\}, \max\{g \in \{1, 63\} | E_{B_e}(g, n) > D'\}\}$$

其中,  $D' = R'_D \times (E_{A_e}|_{c=0} + E_{B_e}|_{c=0})$ 。

水印信息为  $b_j'(j=0, 1, \dots, l-1)$ 。

为此先计算 A-subregion 中每块的下标  $c$  所有可能值的  $E_{A_e}(c)$ ,使得  $E_{A_e} < D'$  ( $D'$  可以为嵌入时使用的  $T$ )。在所有满足上述条件的  $c$  中选择一个最小下标作为 lc-subregionA 的截断下标  $c_A$ ,用同样的方法计算 B-subregion 的截断下标  $c_B$ 。 $c = \max\{c_A, c_B\}$ 。如果  $c_A < c_B$ ,则令  $b_j'$  为 1;如果  $c_A > c_B$ ,则令  $b_j'$  为 0;如果  $c_A = c_B$ ,则比较  $E_{A_e}(c_A)$  和  $E_{B_e}(c_B)$  的大小,若  $E_{A_e}(c_A) < E_{B_e}(c_B)$ ,则  $b_j'$  为 1,否则  $b_j'$  为 0。

检测的具体步骤为(设阈值  $T = D'$ ):

(1) 如果  $E_A < T$  并且  $E_B < T$ ,则无水印信息,不进行检测;

(2) 如果  $E_A \geq T$  并且  $E_B = 0$ ,若  $b_j' = 1$ ,则认证成功;若  $b_j' = 0$ ,则认证失败;

(3) 如果  $E_A = 0$  并且  $E_B \geq T$ ,若  $b_j' = 0$ ,则认证成功;若  $b_j' = 1$ ,则认证失败;

(4) 如果  $E_A \geq T$  并且  $E_B \geq T$ ,则认证失败。

由提取过程可以看出:水印提取并不需要原始视频,为盲提取过程;水印提取只是在解码的反量化和反变换之前,并不需要对原始码流进行完全解码,就可在一定程度上保证水印提取的实时性。

## 4 实验结果及分析

本实验支持的帧类型为 I 帧和 P 帧;采用 I 帧编码,每帧嵌入相同水印;支持 1/4 像素精度运动搜索;支持全部 7 种块模式;采用 CAVLC 熵编码。

### 4.1 不可见性分析

不可见性是数字水印的一项基本性质,图 2 给出了对

foreman (CIF 格式  $352 \times 288$ , 30 帧、纹理复杂度一般)、Silent (CIF 格式  $352 \times 288$ , 100 帧、背景纹理复杂度极高)两个视频序列做仿真实验的结果。其中,第一层水印信息采用  $22 \times 64$  的二值数字图像作为标志水印,每个像素值为 1 个比特位,组成 0,1 的二进制序列;第二层水印  $n=2$ ,能量差比率  $R_D = 0.002$ ,量化参数  $QP=28$ 。由图 2 可以看出,峰值信噪比 (PSNR) 均在 30dB 以上,表明本文提出的双重水印算法完全满足水印不可见的要求。

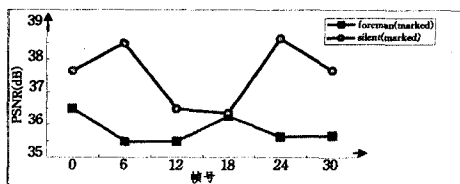


图 2 不同视频序列的峰值信噪比 (PSNR)

### 4.2 鲁棒性分析

鲁棒性是检测水印算法的重要标准。本文对嵌入水印的 silent 视频进行 3 种攻击试验:(1) 解码后的视频序列受到  $QP$  为 35 的重量化攻击;(2) 块删除;(3) 共谋攻击。表 1 为实验测试结果,其中第 3 列  $W_e$  表示提取出的半脆弱认证水印,第 4 列  $W_r$  表示提取的鲁棒水印。对比后可以发现,半脆弱认证水印对块删除攻击敏感,受损严重;对其他两类攻击,半脆弱认证水印失真真较小,提取的水印适应认证要求。鲁棒水印对所试验的 3 种攻击具有良好的抗击能力,在 3 种攻击情况下鲁棒水印仍然能够正确地提取出来。

表 1 3 种攻击实验下的水印提取

攻击类型	视频图像 (I 帧)	提取的水印 $W_e$	提取的水印 $W_r$
原始视频			高信
重量化 (QP=35)			高信
块删除			失真
共谋攻击			失真

### 4.3 双重水印前后视频文件大小及视频码率的变化

表 2—表 4 分别给出了水印嵌入前后视频文件大小、图像码率的变化以及水印序列重编码提取水印相似度情况,由表可见:

(1) 嵌入双重水印不会对视频文件大小造成影响。

(2) 嵌入双重水印前后码率的相对变化率((水印后视频码率-水印前视频码率)/水印前视频码率)在 0.4%~0.2% 之间,几乎可以忽略,完全满足码率稳定的要求。

(3) 表 4 为量化参数  $QP=28$  和 36 的 foreman\_cif 水印序列重编码提取水印相似度。由表 4 可见,经重量化编码后,从 I 帧提取的水印相似度很大,  $\rho(b, b') = 1$  的概率  $\geq 87.5\%$ ,表明水印对重量化攻击具有良好的鲁棒性。

表2 水印嵌入前后视频文件的大小

视频序列	嵌入水印前	嵌入水印后	提取双重水印后
foreman_cif	23055kB	23055kB	23055kB
silent_cif	43.5MB	43.5MB	43.5MB

表3 水印前后平均码率变化(kbps)

Q	水印前视频码率		水印后视频码率		码率相对变化率(%)	
	foreman_cif	silent_cif	foreman_cif	silent_cif	foreman_cif	silent_cif
28	850.08	906.56	853.31	909.79	0.37	0.36
36	753.04	827.52	756.27	829.90	0.42	0.29

表4 foreman\_cif 水印序列重编码提取水印相似度( $\rho$ )

QP	I帧帧号							
	0	4	8	12	16	20	24	28
28	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	1	0.98	1	1	1	0.96	0.99

**结束语** 本文提出一种基于能量差比率与扩频的双重视频水印技术。在 H.264 帧内预测变换和量化阶段,以直接置入中低频 DCT 系数的方式嵌入水印,然后通过改进的差分能量水印算法进行 I 帧视频弱水印嵌入。水印提取不需要原始视频作参考,实现了盲检测。实验结果表明,本文提出的双重水印不会对视频文件大小造成影响,并且对重量化、块删除、共谋攻击等都具有很强的鲁棒性。

参考文献

[1] Hartung F, Girod B. Digital Watermarking of MPEG-2 Coded

Video in the Bitstream Domain[C]// Proceedings ICASSP97. Munich, Germany, 1997, 4:2621-2624

[2] 庞骄阳,梅文博. MPEG-4 码流中的数字水印[J]. 计算机工程与应用, 2005, 30:55-59

[3] Lu C-S, Chen J-R, Liao H-YM, et al. Real-time MPEG2 Video watermarking in the VLC domain[C]// 16th International Conference on Pattern Recognition Proceedings. 2002, 2:552-555

[4] Kutter J M, Ebrahimi T. Proposal of watermarking technique for hiding/retrieving data in compressed and decompressed video [C]// ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. 1997

[5] 周伟. 基于 MPEG4 的视频水印技术研究[D]. 南京:南京理工大学, 2006

[6] Cox I J, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[R]. 95-10. Princeton, NJ: NEC Research Institute, 1995

[7] Cox I J, Kilian J, Leighton T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1997, 6(12): 1673-1687

[8] [http://yzhkch.ecit.edu.cn/jsjtxx/html/image\\_8\\_5.htm](http://yzhkch.ecit.edu.cn/jsjtxx/html/image_8_5.htm)

[9] 凌贺飞, 卢正鼎, 邹复好. 基于 MPEG 的实时视频水印技术[J]. 小型微型计算机系统, 2005, 26(12): 2181-2185

[10] 曹华, 周敬利, 余胜生, 等. 基于 H.264 低比特率视频流的半脆弱盲水印算法实现[J]. 电子学报, 2006, 34(01): 40-44

[11] 陈卓, 王田. 一种基于 S3C2410 的网络终端的视频处理方案[J]. 重庆工学院学报:自然科学版, 2008, 22(3): 43-46

(上接第 250 页)



图2 图像匹配的对应关系

表1 各实时图的平移量和旋转角

	实时图 1		实时图 2		实时图 3		实时图 4		
	真实值	匹配值	真实值	匹配值	真实值	匹配值	真实值	匹配值	
平移 (像素)	x 方向	138	136	393	396	390	389	119	117
	y 方向	102	102	135	133	324	322	334	335
旋转角(度)	38.0	36.7	67.0	66.8	149.0	146.4	265.0	268.1	

从表1可以看出,提出的匹配算法对具有旋转的图像匹配能达到很高的匹配精度。大量仿真数据表明,对于不旋转图像,本算法的位置平均定位精度在 0.5 个像素以内,定位精度优于模板互相关算法,匹配概率则与归一化模板互相关算法基本相当。对于大于 5 度旋转的图像,归一化模板互相关算法则基本无法进行正确匹配,而本算法的平均定位精度依然保持在 3 个像素以内,旋转角度平均定位精度保持在 3 度内,匹配概率则和没有旋转时基本保持不变。

**结束语** 本文实现了一种基于角点的旋转不变特征量的图像匹配方法。由于 Harris 检测算子具有算法简单、抗噪性

能强等特点,因此将其应用于提取图像的角点。利用小面模型对特征点邻域进行拟合,构造特征点的旋转不变特征向量。然后采用改进的 MAD 算法匹配特征点集,并利用旋转一致性检查算法消除误匹配特征点。实验结果表明,本算法能很好地匹配具有旋转的图像。

参考文献

[1] 肖靖,彭涛. 基于特征点的飞行器局部模板匹配[J]. 信息技术, 2008, 34(8): 27-29

[2] 王润生. 图像理解[M]. 长沙:国防科技大学出版社, 1995

[3] 李海超,张广军. 基于旋转不变的角度匹配方法[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(3): 561-565

[4] Du-Ming T, Ya-Hui T. Rotation-invariant pattern matching with color ring-projection[J]. Pattern Recognition, 2002, 35(3): 131-141

[5] Balslev I, Doring K, Erikson R D. Weighted central moments in pattern recognition[J]. Pattern Recognition, 2000, 21(4): 381-384

[6] Prieto M S, Allen A R. A similarity metric for edge images[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(10): 1265-1273

[7] Schiele B, Crowley J L. Recognition Without Correspondence Using Multidimensional Receptive Field Histograms [J]. Int'l Journal of Computer Vision, 2000, 36(1): 31-50

[8] Wang Y T, Zhang D Z, Tian J W. Topological clustering and its application for discarding wide-baseline mismatches[J]. Optical Engineering, 2008, 47(4)

[9] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. Int'l Journal of Computer Vision, 2004, 2(60): 91-110